

Collection "Documents Systèmes Agraires" N° 17

LE DEVELOPPEMENT AGRICOLE AU SAHEL

Tome II

Recherches et techniques

Editeurs scientifiques

P.M. Bosc

V. Dollé

P. Garin

J.M. Yung



Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement

Collection "Documents Systèmes Agraires" N° 17

LE DEVELOPPEMENT AGRICOLE AU SAHEL

Tome II

Recherches et techniques

Editeurs scientifiques

P.M. Bosc

V. Dollé

P. Garin

J.M. Yung



Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement

Département Systèmes Agroalimentaires et Ruraux
du Centre de Coopération Internationale en
Recherche Agronomique pour le Développement
Avenue du Val de Montferrand
BP 5035 - 34032 MONTPELLIER Cédex - France.
Tél. 67 61 58 00 - Télex 49094 F - Fax 67 41 40 15.

Avertissement

Ce livre est un travail collectif. Que tous ceux qui y ont participé soient ici remerciés pour leur active collaboration. Sans la contribution de chacun des auteurs, qui ont bien voulu accepter l'exercice de la synthèse, cet ouvrage n'aurait pu voir le jour.

Cathy CHARRIEAU, Cathy OLIVER, Viviane PASSERI et Sylvie GIBERT ont eu la lourde tâche de saisir l'ensemble des textes.

Les bibliographies ont été complétées et vérifiées par Cathy NOEL et Marie-Christine DUCHAMP, qui ont effectué les recherches documentaires nécessaires.

La mise en forme finale a été réalisée par Martine LHOSTE, qui s'est chargée de la maquette sur les conseils de Marie-Agnès LEPLAIDEUR.

Sommaire

Introduction	7
Le mil	
Pierre-Marie Bosc, Patrice Garin, CIRAD-SAR	15
Le sorgho	
Jean-Claude Mauboussin, CIRAD-CA	35
La riziculture irriguée	
Jean-Yves Jamin, CIRAD-SAR	51
L'arachide	
Robert Schilling, CIRAD-CA	71
Le niébé	
Mamadou Ndiaye, CNRA Bambey, ISRA Sénégal	89
Les cultures maraîchères	
Hubert de Bon, CIRAD-CA	103
La foresterie	
Jean-Pierre Goudet, CIRAD-Forêt	113
Les productions animales	
Contribution CIRAD-EMVT	127
Situation du secteur élevage au Mali	
Noumou Diakité, vétérinaire	163
La malherbologie	
Pierre-Vincent Fontanel, CIRAD-CA	191
La mécanisation agricole	
Gérard Le Thiec, CIRAD-SAR	205
La protection des cultures	
Michel Launois, CIRAD-GERDAT Patrice Garin, Pierre-Marie Bosc, CIRAD-SAR	219
La technologie post-récolte des grains	
Jean-François Cruz, CIRAD-SAR Jacques Faure, CIRAD-CA	237

L'amélioration des systèmes de production	
Guy Pochier, CIRAD-SAR	251
Développement et aménagement des espaces ruraux	
Yves Clouet, CIRAD-SAR	267
Techniques de lutte contre l'érosion et la désertification	
René Marceau Rochette, avec la collaboration de Marie Monimart.....	287
Innovations pour la question agricole de l'eau	
Georges Serpantié, ORSTOM	315
L'évolution des démarches de recherche : quelques repères	
Pierre-Marie Bosc, Patrice Garin, CIRAD-SAR	347

Introduction

Le CIRAD a confié l'animation d'une réflexion collective sur le développement agricole des régions sahéliennes à son Département systèmes agro-alimentaires et ruraux (CIRAD-SAR). Pour la mener à bien, ce dernier a fait appel aux compétences de nombreux professionnels du développement et de la recherche.

Un ouvrage de synthèse intitulé "Le développement agricole au Sahel", en cinq tomes, marque l'aboutissement de ce travail.

Avant de présenter chacune des contributions qui composent ce tome II, "Recherche et techniques", il convient de rappeler brièvement les objectifs poursuivis et l'articulation de ce volume avec l'ensemble de l'étude

Un bilan des acquis techniques disponibles

La recherche agricole est souvent interrogée quant à ses possibilités concrètes de promouvoir des techniques permettant, d'une part, d'exploiter de manière reproductible les ressources des écosystèmes et, d'autre part, de favoriser le développement des forces productives en agriculture. Cette demande est particulièrement vive pour les régions sahéliennes où la vigueur, la diversité et la permanence des défis que doivent affronter les sociétés sahéliennes soumettent les systèmes de recherche à de fortes pressions et rendent encore plus nécessaire qu'ailleurs leur participation active au progrès des techniques agricoles.

Il paraissait donc utile de faire le point sur les connaissances et acquis techniques disponibles pour le développement agricole.

Les contributions réunies présentent un bilan des connaissances et acquis techniques disponibles dans un domaine donné, une réflexion sur les thèmes traités et la manière de les aborder, ainsi que des propositions d'orientations de recherche pour le futur.

Face aux défis du milieu identifiés dans le tome I "Milieux et défis", la recherche agricole sahélienne dispose d'ores et déjà d'un certain nombre de propositions techniques destinées aux producteurs agricoles. En outre, les connaissances et expériences accumulées par la recherche, l'évolution de ses démarches et son implication dans certaines opérations de développement font que sont également disponibles des propositions à caractère méthodologique pouvant améliorer la pertinence des interventions en milieu rural.

Le mot "innovation" est absent du titre de ce volume, ce qui peut paraître paradoxal dans la mesure où il sera question d'apprécier les acquis de la recherche agricole au Sahel, que l'on présente souvent sous le terme d'innovation. Ce choix s'appuie sur l'analyse des processus d'innovation du tome IV "Défis, recherches et innovations au Sahel".

Nous rappellerons ici les éléments qui justifient un tel choix.

Nous distinguons en effet les notions de "solution technique" ou d'"invention" et d'"innovation", réservant ce dernier terme au processus d'innovation tel que le réalise le producteur lorsqu'il fait le choix de réaliser une "nouvelle combinaison", au sens de Schumpeter, développant par là même ses forces productives.

La recherche agricole est en effet comparable à celle de l'inventeur qui découvre un nouveau procédé ou met au point un nouveau référentiel technique. Sans

exploitation industrielle et commerciale, une invention, pour aussi intéressante qu'elle soit en termes de progrès de la connaissance, de la technique ou de l'industrie, n'accèdera pas au stade d'innovation.

Ces propositions d'innovations destinées aux producteurs agricoles sont susceptibles d'être combinées aux formes techniques anciennes pour réaliser de nouvelles combinaisons.

Nous nous sommes situés dans un cadre où de nouvelles formes techniques sont initiées à partir d'un apport technique exogène aux sociétés paysannes considérées. Ces apports exogènes – propositions d'innovations – sont souvent réinterprétés en référence au cadre des systèmes de production préexistants et des conditions sociales et économiques des acteurs concernés.

Notons ici que seul l'apport technique ou organisationnel peut être qualifié d'exogène dans la mesure où la réalisation de ces nouvelles combinaisons demeure le fait des producteurs. L'innovation est nécessairement endogène, quelle que soit l'origine, exogène ou endogène, des modifications techniques ou organisationnelles permettant au producteur de créer ces nouvelles combinaisons.

Les contributions

Les contributions qui composent ce volume ne présentent pas exclusivement des propositions d'innovations. Les acquis des recherches agricoles se présentent sous des formes variées dont les propositions d'innovations destinées directement aux producteurs agricoles ne sont qu'un aspect particulier.

En effet, ces acquis peuvent être de différents types, parmi lesquels on peut citer : les connaissances de bas, sur les espèces cultivées, les espèces animales et forestières, la flore spontanée ou les mécanismes d'élaboration de la production ; les référentiels techniques, plus rarement technico-économiques, les acquis méthodologiques et les propositions d'innovations thématiques.

Pour G. Le Thiec, la mécanisation des opérations culturales n'est qu'un des volets techniques de l'utilisation du cheptel de trait par les agriculteurs. Cette rupture majeure dans l'évolution des systèmes de production sahéliens – la mécanisation des opérations culturales – ne doit pas occulter la multiplicité des fonctions remplies par diverses espèces aptes au trait : équins, asins, bovins... Parmi ces fonctions, celle du transport des matériaux agricoles et non agricoles lourds ainsi que des personnes en milieu rural n'est pas moins importante. Cependant, si l'acquis technique pour la mécanisation des opérations culturales est diversifié, G. Le Thiec note qu'il reste largement sous-exploité en termes de développement, comme en témoigne l'inégale extension de la traction animale entre l'ouest et l'est du Sahel.

Pour valoriser cet acquis disponible et le rendre effectivement opérationnel, G. Le Thiec propose quelques axes majeurs de recherche-développement à caractère technique.

Par rapport aux autres grandes régions agro-écologiques de l'Afrique de l'Ouest, le Sahel est certainement celle où la pression des ennemis des cultures est la plus faible. Néanmoins, cette pression constitue un risque certain, variable selon les années, les situations et les ennemis des cultures concernés. Le risque est d'autant plus prégnant qu'il peut se combiner à d'autres aléas et en renforcer les effets négatifs. Dans ce contexte, les acridiens représentent certainement la menace la plus sérieuse.

M. Launois présente le bilan des acquis de la recherche dans le domaine de la lutte antiacridienne. Les techniques, produits de traitement et modalités d'appli-

cation ainsi que les différentes échelles où ces traitements peuvent être utilisés (de la parcelle à la sous-région) sont fondés sur des connaissances de base en biologie et écologie des espèces majeures d'acridiens du Sahel. En matière de protection des cultures, *P. Garin* et *P.M. Bosc* dressent un bilan des principaux ennemis des cultures identifiés chez les espèces majeures ainsi que les modes de lutte les plus appropriés, lorsqu'ils sont disponibles. Cependant, notons que les dégâts provoqués par les ennemis des cultures peuvent être considérablement réduits par de meilleures conditions de culture. Les interventions chimiques demeurent le plus souvent hors de portée des producteurs, mis à part pour la protection des semences ou pour protéger les cultures irriguées et maraîchères.

De bons niveaux de résistance variétale ont été conservés voire développés chez les populations locales améliorées et cette voie de l'amélioration génétique demeure la plus opportune tant que n'existeront pas des débouchés monétarisés et sécurisés autorisant et justifiant économiquement le recours à des intrants monétaires.

Dans le domaine de la malherbologie, la synthèse proposée par *P. Fontanel* couvre un vaste champ scientifique.

Les recherches de base ont concerné ces dernières années les connaissances fondamentales sur l'inventaire et la biologie des différentes espèces adventices sahéliennes et sahélo-soudaniennes. Des techniques mécaniques de lutte contre les adventices sont disponibles essentiellement en culture pluviale alors qu'en culture irriguée – sur le riz – la lutte contre les adventices peut être envisagée comme une combinaison des techniques de semis, de maîtrise de l'eau et de lutte chimique.

En culture pluviale, *P. Fontanel* souligne le manque de produits chimiques économiquement intéressants pour les producteurs de céréales et d'arachide, qui pourraient utilement les combiner avec les techniques de lutte mécanique.

P. Fontanel présente également un certain nombre d'acquis à caractère méthodologique permettant une meilleure appréhension des problèmes liés aux adventices.

En termes d'analyse opérationnelle des situations agronomiques, la notion de "peuplement adventice" permet d'appréhender les dynamiques de ces associations végétales en relation avec les états du milieu cultivé.

L'analyse systémique menée à l'échelle du système de culture permet d'identifier les combinaisons et utilisations complémentaires de différents moyens de lutte. A l'échelle du système de production, l'opération technique "désherbage" est raisonnée en fonction du contexte socio-économique, notamment de l'organisation du travail agricole en chantiers et des opportunités alternatives de valorisation de la main-d'œuvre des unités de production.

G. Serpantié propose pour sa part une réflexion approfondie sur les façons d'appréhender l'eau selon que l'on situe son regard du côté de la recherche agronomique ou du côté des paysans. Il soulève ainsi de nombreuses interrogations à caractère agronomique tout en élargissant son propos au champ des sciences sociales, sans lesquelles la pertinence de l'appréhension du fait technique lié à l'eau demeure limitée.

Parmi les nombreuses interrogations suscitées, la distinction entre l'eau, facteur de production, et l'eau, condition de production, mériterait un large débat qui pourrait déboucher sur d'importantes recommandations opérationnelles : doit-on considérer l'eau comme une ressource rare et coûteuse au Sahel et parler de l'efficience de son utilisation ?

Par ailleurs, au-delà des questions liées aux modes d'utilisation de l'eau, on retrouve la question de l'arbitrage entre des politiques opposées en matière d'utilisation agricole de cette ressource. D'une part, avec les aménagements hydro-agricoles, se trouvent concentrés, sur des superficies limitées, à la fois des infrastructures

considérables et de grandes quantités d'eau à la disposition d'un nombre limité de producteurs agricoles. D'autre part, en culture pluviale, la majorité des producteurs joue la carte de la dispersion et de l'augmentation des superficies cultivées dans une double perspective de limitation des risques courus et de valorisation optimale de la force de travail disponible.

Cependant, nombreuses sont les techniques d'économie de l'eau dont on peut envisager la diffusion à l'échelle des parcelles en culture pluviale. Cela implique de considérer la parcelle dans le cadre plus large du bassin versant ou du paysage et de combiner aménagement à la parcelle et aménagement global. Cela suppose également que soient mis à la disposition des producteurs les moyens pour réaliser de nouvelles combinaisons visant à augmenter la disponibilité de l'eau et à en améliorer l'utilisation par les plantes : nouveaux moyens d'intervention, ainsi que l'information sur les propositions d'innovations et les possibilités d'investir avec un risque réduit.

En matière d'amélioration de la production animale, la contribution des chercheurs du CIRAD-EMVT fait référence à de nombreux travaux de recherche. Ceux-ci ont débouché sur des propositions techniques significatives, largement adoptées par les producteurs lorsqu'elles s'avèrent "effectivement" disponibles, comme dans le cas des vaccins, qui permettent un contrôle efficace des principales épidémies.

Dans d'autres domaines, et en particulier dans celui de l'alimentation, qui représente le principal facteur limitant en région sahélienne, les résultats les plus significatifs autorisent actuellement une meilleure connaissance des phénomènes biologiques de base en milieu sahélien. Les études doivent certes être approfondies, notamment pour mieux appréhender les phénomènes métaboliques en période de soudure, mais on peut d'ores et déjà souligner les remarquables capacités de production du cheptel sahélien dans un environnement souvent défavorable.

Dans le domaine de la reproduction, par contre, si les acquis techniques témoignent de connaissances de base souvent importantes, leur opérationnalité pour les régions sahéliennes demeure strictement limitée à certaines situations bien spécifiques (ceinture périurbaines par exemple).

Les acquis en matière de gestion des ressources pastorales démontrent les limites d'une démarche techniciste ignorant les modes d'organisation sociale qui régissent les maîtrises foncières pastorales et l'utilisation de l'espace qui en découle (une bonne illustration en est donnée dans le tome III par l'étude de cas de B. Thébaud et E. Granry, qui analysent l'interrelation entre gestion des points d'eau et gestion des ressources pastorales associée).

Toujours dans le domaine des productions animales, par l'analyse globale des différents systèmes d'élevage et des modes de vie qui leur sont liés, *N. Diakité* fournit un aperçu, avec le cas du Mali, des nombreux acquis méthodologiques signalés par ailleurs. Citons, sans chercher à être exhaustif, la prise en compte de la diversité et de la complexité des situations, l'importance des démarches globales, les complémentarités entre régions aux contraintes et potentialités contrastées, plus largement entre régions sahéliennes et soudaniennes, ainsi que les récents bouleversement des sociétés pastorales.

Les principales espèces cultivées au Sahel ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche ayant débouché sur des propositions concrètes d'innovations, notamment dans le domaine de l'amélioration des plantes ou de la phytotechnie. Les contributions relatives à ces espèces – *P. Garin* et *P.M. Bosc* pour le mil, *J.C. Mauboussin* pour le sorgho, *R. Schilling* pour l'arachide, *M. N'Diaye* pour le niébé, *J.Y. Jamin* pour le riz irrigué, *H. de Bon* pour les cultures maraîchères – permettent d'identifier des marges de progrès non négligeables tant en culture pluviale qu'en culture irriguée. Elles peuvent être appréciées de manière significative sur des cultivars issus de populations locales (mil et sorgho) ou à travers des

créations variétales (arachide) particulièrement adaptées aux contraintes du milieu. Ce diagnostic global met l'accent, au Sahel, d'une part sur le caractère fortement limitant de conditions de milieu très peu artificialisées et d'autre part sur la nécessaire orientation des recherches vers des démarches plus spécifiquement agronomiques, à l'échelle des petites régions agricoles. Les nouveaux programmes devraient porter sur l'amélioration des milieux cultivés et intégrer les dimensions économique et sociale.

En termes de recherche agronomique, cela implique d'utiliser de manière plus systématique les acquis conceptuels et méthodologiques élaborés dans d'autres contextes, mais dont la validité n'est pas discutable au Sahel, comme le montrent des travaux récente *

Dans le domaine de la production agricole, l'amélioration des capacités de production des milieux physiques est certainement le défi technique majeur au Sahel. Nous entendons par là la "construction" ** par les producteurs d'un milieu physique artificialisé, plus favorable aux activités agricoles et pastorales, susceptible de résister plus efficacement aux aléas climatiques.

Le défi technique apparaît d'autant plus important qu'il s'agit d'un facteur limitant majeur en matière de production au Sahel. En effet, les capacités de production des principales espèces cultivées, tant en agriculture pluviale qu'en situation irriguée, sont nettement sous-exploitées et les marges de progrès accessibles à court terme sont loin d'être négligeables. Leur mise à profit dépend étroitement, en termes techniques, de l'amélioration des milieux physiques (création de conditions de culture plus favorables), allant de pair avec le développement des capacités d'intervention des producteurs sur les peuplements cultivés ou les groupes d'animaux élevés ***.

C'est dans une telle perspective que R.M. Rochette et M. Monimart présentent des techniques d'aménagement physique du milieu effectivement disponibles, sous réserve d'une adaptation fine aux divers contextes agro-écologiques locaux et régionaux. Ils soulignent en outre la complémentarité de ces techniques avec celles à dominante biologique, tout en faisant ressortir les faiblesses en matière de recherche-développement, concernant la disponibilité d'espèces végétales et de modes de conduite adaptés. En effet, combiner aménagements physiques de l'espace et aménagements biologiques (végétation ligneuse en particulier) peut représenter, dans les situations où cela est possible, à la fois une réponse pour l'amélioration des capacités de production des milieux physiques et la possibilité de produire une quantité plus importante de biomasse végétale susceptible de combler les déficits alimentaires du cheptel, en période de soudure notamment.

Cette convergence indispensable ressort également de la contribution de J.P. Goudet, qui souligne la nécessité d'une plus forte intégration des espèces ligneuses aux systèmes de culture, gage de stabilité et de diversification des produits et des revenus. Cette position en faveur d'une foresterie prenant en compte l'ensemble des composantes des systèmes de production est significative de l'évolution récente des conceptions de la foresterie rurale. Cette dernière est en effet passée des systèmes de plantations en régie puis villageoises à une approche davantage axée sur les systèmes de production et répondant aux exigences

* DIOUF M., 1990. Analyse de l'élaboration du rendement du mil. Mise au point d'une méthode de diagnostic en parcelles paysannes. Thèse, INA-PG, 277 p.

** D'après les expressions de Lecouteux, "construction de la fertilité", cité par C. Reboul (1977), et de P. Blanchemanche (1990), "Bâtisseur de paysages".

*** Cette nécessité est également soulignée dans le tome I (Milieux et défis) par R. Bertrand, qui décrit les risques érosifs de nature diverse auxquels sont soumis les milieux physiques lorsqu'ils sont mis en culture.

agronomiques, zootechniques et surtout socio-économiques de l'intégration des ligneux aux systèmes de culture.

D'autre part, J.P. Goudet, dans sa synthèse critique des acquis de la recherche en matière de foresterie, montre que des efforts devraient être consentis afin de mieux connaître les formations naturelles sahéliennes, pour lesquelles des techniques d'exploitation raisonnée sont disponibles à un coût bien inférieur à celui des plantations. Cette proposition pose cependant la question du contrôle social et de l'appropriation des ressources des milieux physiques au Sahel. Outre l'enjeu technique que nous venons d'évoquer, il s'agit là d'une composante essentielle de l'enjeu socio-économique lié à l'amélioration du milieu physique. Enjeu qu'aborde Y. Clouet à travers un aperçu méthodologique des démarches d'intervention ayant pour objectif l'amélioration des milieux physiques. A partir de quelques principes pour guider les interventions, Y. Clouet met en évidence la nécessité d'associer les actions visant cette amélioration avec celles ayant le développement économique et social comme finalité. L'intérêt de combiner les deux préoccupations est manifeste, en particulier pour lever les blocages techniques que l'on peut identifier au niveau des systèmes de production.

Ce même enjeu socio-économique guide l'analyse de R.M. Rochette et M. Monimart qui, à partir de nombreuses expériences sahéliennes * qui leur servent de base empirique, identifient quelques-unes des conditions socio-économiques favorables à la "construction" d'un milieu physique plus artificialisé.

Les recherches thématiques en matière de post récolte, de transformation et conservation des produits agricoles, dans une perspective d'adaptation à la diversification des modes de préparation des plats et de consommation alimentaire, devraient coïncider à court terme avec des orientations importantes de la recherche agricole et agro-alimentaire au Sahel. Dans le domaine de la technologie post récolte des principales productions sahéliennes, J.F. Cruz et J. Faure mentionnent cependant des acquis techniques non négligeables.

Ces acquis concernent d'une part des équipements fonctionnels disponibles pour le développement (batteuses et nettoyeurs-séparateurs de petite capacité, par exemple) et d'autre part des connaissances fondamentales sur les qualités physico-chimiques des céréales.

Des recherches d'adaptation apparaissent néanmoins nécessaires pour améliorer les performances des opérations de première transformation, décorticage et mouture, à partir des modèles de décortiqueuses et de moulins existants et en fonction de l'utilisation des produits transformés dans les plats traditionnels.

Ces recherches thématiques apparaissent stratégiques lorsque l'on considère les défis auxquels sont confrontées les sociétés sahéliennes : déconnexion entre offre rurale et demande urbaine en produits agricoles transformés ou semi-transformés. Leur couplage avec les recherches conduites dans le domaine de l'amélioration variétale apparaît tout aussi important. Cependant, pour aussi pertinentes que soient ces suggestions et les résultats concrets qui pourraient en résulter, le problème des débouchés urbains ne saurait être résolu sans une mise en cohérence de ces propositions avec des politiques incitatives en matière de mise en marché pour l'approvisionnement des villes.

"Le temps des certitudes sur la pertinence des démarches de recherche est révolu", écrit C. Fillonneau **, et peut-être cela est-il à mettre en parallèle avec les évolutions récentes des démarches de recherche qui ont souvent modifié leur manière d'approcher les faits agricoles.

* Le Sahel en lutte contre la désertification. Leçons d'expériences. Ouvrage collectif dirigé et rédigé par R. M. Rochette, GTZ, 1989, 592 p.

** In Le risque en agriculture. P. Milleville et M. Eldin (Ed.). ORSTOM, 1989.

P.M. Bosc et P. Garin présentent sur ce vaste sujet certains éléments qui leur ont paru significatifs des évolutions de quelques démarches de la recherche agricole en régions sahéliennes.

Ces évolutions concernent autant les recherches sur les ressources de base (climat et sols) que les méthodologies relatives aux interventions de type recherche-développement par exemple.

Les constats de P.M. Bosc et P. Garin rejoignent l'appréciation de C. Fillonneau à propos des méthodologies de recherche-développement qui *"s'orientent vers la prise en compte du fonctionnement des unités de production, de la diversité des objectifs et des moyens des familles paysannes, de la durée et de la stabilité nécessaires à la maîtrise des changements et de leur pérennité"*.

Reste que si des progrès significatifs ont effectivement été enregistrés dans ce domaine, le problème de l'articulation des échelles d'observation et d'intervention ainsi que le passage d'échelles d'expérimentation localisées à de grands échantillons significatifs en termes de développement économique demeurent des enjeux de recherche fondamentaux.

Le mil

**Pierre-Marie Bosc
Patrice Garin
CIRAD-SAR**

Table des matières

Biologie et facteurs d'élaboration du rendement	19
Les phases du cycle de développement	19
L'amélioration des productions	21
Amélioration variétale	23
Mils traditionnels : populations améliorées et variétés synthétiques	24
Formules hybrides	25
Modification de l'architecture	25
Les introductions	25
Amélioration des conditions de culture	26
Défense des cultures	26
Les systèmes plus intensifs	28
Une intensification nécessaire	28
La diversité des systèmes de production	28
Des propositions techniques disponibles	29
Des orientations pour la recherche	31
Bibliographie	33

Mil et Sahel apparaissent indissociablement liés tant l'importance culturelle et économique de ces céréales est grande pour la région.

Le mil est difficile à distinguer du sorgho dans certaines statistiques. Quelques chiffres suffisent cependant à donner une idée de leur poids économique et social. Mil et sorgho représentent entre 67 et 94 % de la production céréalière totale des pays du CILSS entre 1980 et 1986 (chiffres cités par GABAS et GIRI, 1987). Sachant que les conditions agro-écologiques ont conduit certaines régions ou pays à se spécialiser dans l'une ou l'autre de ces deux espèces (mil au Sénégal ou au Niger, sorgho au Mali, par exemple), on mesure mieux l'enjeu de recherche lié à ces productions pour les pays sahéliens.

Le mil présente des caractéristiques et des mécanismes agrophysiologiques qui en font une céréale rustique particulièrement adaptée aux conditions agro-climatiques contraignantes du Sahel :

- une seule saison des pluies marquée par une forte irrégularité intra- et interannuelle des précipitations, particulièrement en début d'hivernage lors de l'installation du peuplement végétal, avec occurrence aléatoire de périodes sèches pendant les autres phases du cycle de culture (croissance végétative, reproduction et maturation des grains) ;
- une proportion élevée de sols sableux, pauvres en colloïdes, carencés en phosphore, relativement pauvres chimiquement et ayant une faible capacité de rétention d'eau, mais profonds (> 1,5 m) dans la plupart des cas.

Le mil s'insère dans des systèmes de culture où le milieu est généralement peu artificialisé, les techniques de culture fréquemment manuelles répondant davantage à des objectifs de valorisation du temps de travail et de sécurité alimentaire que de maximisation de la productivité de la terre (CHABERT *et al.*, 1990). Toutefois, dans certaines régions (bassin arachidier au Sénégal), sa culture est presque totalement mécanisée (semis et sarclage) et seul le démariage reste manuel.

Le principal facteur technique qui limite les superficies emblavées est le plus souvent la force de travail disponible au moment des sarclages, dans le cas d'une agriculture manuelle (MILLEVILLE, 1989). Il s'agit de systèmes techniques ayant généralement de faibles capacités d'intervention sur le milieu et le peuplement cultivé.

Biologie et facteurs d'élaboration du rendement

Les phases du cycle de développement

■ Germination et levée

Le grain de mil, de taille réduite par rapport aux autres céréales, offre cependant un rapport entre surface de contact avec le sol et volume de la graine plus important, ce qui facilite son imbibition dès les premières pluies. La germination démarre quasiment sans phase de latence.

Son cycle photosynthétique en C4 lui assure une croissance relative rapide mais la faiblesse des réserves de sa graine fait que la plantule de mil est rapidement

Les auteurs remercient P. DUGUE, J.C. MAUBOUSIN, P. MILLEVILLE et R. TOURTE pour les observations constructives qu'ils ont apportées à ce texte.

dépendante des ressources hydriques et minérales du sol. Pendant cette phase, la lumière, l'eau et le phosphore constituent les principaux facteurs limitants pour la plante (SIBAND, 1981).

La faiblesse des ressources minérales des sols sableux et leur faible capacité de rétention en eau est compensée soit par des besoins limités dans les premiers stades de la culture, soit par une capacité de développement racinaire du mil très importante aux moments les plus critiques, entre la montaison et l'épiaison. Le front racinaire peut descendre ainsi jusqu'à 1,80 m en l'absence d'obstacle physique (cuirasse...) ; la masse racinaire et le volume exploré sont supérieurs à ceux des autres céréales aux mêmes stades (CHOPART, 1980). Dans certaines situations sur sables dunaires, caractérisées par des sols très sableux pour l'ensemble du profil, la profondeur d'enracinement peut même s'avérer supérieure.

■ Croissance végétative

Le tallage semble commencer après l'émission de la 6^e ou 7^e feuille et il se poursuit tant que les conditions d'alimentation minérale, carbonée ou hydrique le permettent et tant que la compétition vis-à-vis de l'énergie lumineuse (épaisseur du couvert végétal) n'est pas trop forte. Le tallage peut ainsi se poursuivre après la floraison.

Le nombre de talles émises dépend fortement de l'alimentation azotée et du niveau de compétition (eau et azote) à l'intérieur du poquet.

Cependant, le mil possède la capacité de poursuivre sa croissance, même si les conditions de nutrition sont défavorables en début de cycle : émission de 4 à 5 feuilles entre la carence et l'arrêt de l'émission de talles (DIOUF, 1990).

■ Nombre d'épis

Toutes les talles émises ne parviennent pas au stade de l'épiaison. Si les mécanismes qui conduisent à la transformation des talles en épis paraissent encore mal connus, contrairement à d'autres céréales comme le blé (DIOUF, 1990), il semble qu'au sein des poquets des phénomènes de compensation entre nombre de pieds et nombre de talles conduisent à des nombres d'épis équivalents.

Le rapport entre le nombre de talles montées et le nombre total de talles apparaît comme constant, à la différence d'autres céréales à talles, et s'établirait selon DIOUF (1990) à 35 %. Cette proportion passe à 25 % si l'on considère le rapport entre le nombre de talles épiées et le nombre total de talles (DIOUF).

Le nombre d'épis dépend principalement :

- de l'alimentation hydrique pendant la montaison, à laquelle sont davantage sensibles les talles que les brins maîtres : un déficit hydrique pendant la montaison réduit le nombre d'épis par plante ;
- de l'accès à la lumière, les dernières talles étant défavorisées par le couvert végétal déjà important ;
- de la nutrition azotée et phosphorée (SIBAND, 1981).

■ Floraison

L'étalement des fécondations dans le temps résulte à la fois du décalage des floraisons mâle et femelle et d'un échelonnement dans la floraison de chaque plante, qui suit l'ordre d'émission des talles. Si le rendement des épis est maximal pour les précocités intermédiaires, les fécondations croisées des épis précoces risquent d'être incomplètes alors que les fécondations tardives sont soumises au risque d'échaudage si les pluies de fin de cycle sont déficientes (SIBAND, 1981). En revanche, le développement des épis intermédiaires se trouve sécurisé par l'importante colonisation racinaire des horizons profonds du sol.

■ Remplissage et maturation des grains

La phase de croissance des grains paraît peu influencée directement par les techniques culturales. La dimension du grain ne dépend en fait que de la durée de la croissance, et son remplissage mobilise essentiellement les réserves en azote et en phosphore des talles s'il n'y a pas déficit hydrique.

Le déficit hydrique affecte la composante du rendement "nombre de grains par m²" pendant la montaison et la floraison alors que le "poids d'un grain" est davantage affecté par les conditions défavorables d'alimentation hydrique pendant et après la floraison (DIOUF, 1990).

L'émission des talles non fructifères peut se révéler antagoniste de la formation des grains, par les ressources photosynthétiques qu'elle mobilise en fin de cycle. La photosensibilité tend à augmenter la durée de cette phase de remplissage et a donc un effet positif sur le poids des grains.

■ Besoins en eau

Les besoins en eau de différentes variétés de mil ont été évalués par le calcul de la demande évaporative, en particulier au Sénégal. Ils varient en moyenne de 345 mm, pour un mil nain de 75 jours, à 418 mm pour un Souna III de 90 jours et 598 mm pour un mil Sanio de 120 jours (DANCETTE, 1983).

Les simulations de bilan hydrique montrent que la phase de pleine végétation-reproduction est fortement affectée par la sécheresse : *"La configuration de l'hivernage en période sèche et le cycle cultural sont tels que la sécheresse climatologique relative au mois d'août constatée depuis 1968 se produit durant cette phase, c'est-à-dire quand le besoin hydrique de la culture est maximal."* (JUNCKER *et al.*, 1992).

D'autre part, les écarts de production entre station et milieu paysan montrent clairement que, une fois améliorée l'alimentation hydrique, les progrès en matière de production céréalière ne pourront venir que d'une amélioration globale de la fertilité du milieu (JUNCKER *et al.*).

L'amélioration des productions

Un schéma d'élaboration du rendement du mil a été établi à partir de données bibliographiques et d'indicateurs mis au point en station, validés ensuite sur parcelles paysannes (figure 1). Il est important de souligner la variabilité de ces indicateurs en fonction des situations paysannes (DIOUF, 1990).

Si le schéma d'élaboration du rendement est un outil de diagnostic performant, il nécessite que l'on considère la variabilité des situations paysannes de culture du mil. D'autre part, cette prise en compte suppose la mise en place, dans des situations significatives de cette variabilité, de dispositifs agronomiques qui peuvent paraître lourds mais dont l'utilisation est impérative si l'on souhaite aboutir à des recommandations pertinentes.

Un certain nombre de facteurs d'amélioration de la production ont pu être dégagés.

La forte croissance relative au démarrage de la végétation fait de la lumière un facteur limitant et rend compte de l'intérêt du semis précoce en conditions de faible nébulosité.

Le faible poids des grains – et donc le faible investissement que représente la semence – laisse au paysan la possibilité de plusieurs semis successifs en cas d'installation tardive de l'hivernage après une première pluie, s'il dispose de la main-d'œuvre nécessaire pour le faire.

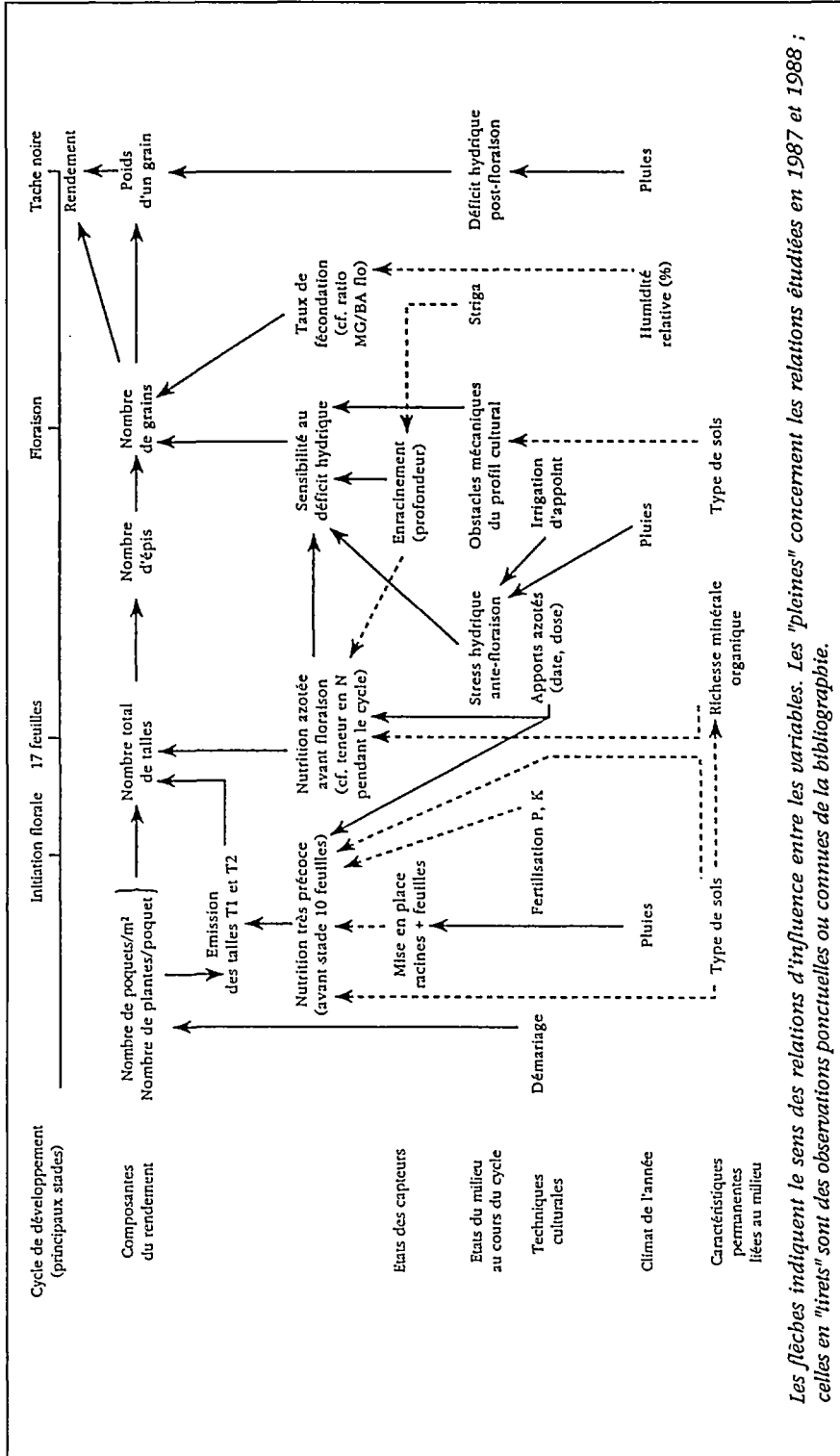


Figure 1. Schéma simplifié de l'élaboration du rendement du mil (résultats d'essais, 1987 et 1988, et données bibliographiques). D'après Diouf, 1990.

Ce délai dans l'installation de l'hivernage et la faible profondeur racinaire acquise par le mil dans les premières semaines rendent souhaitable toute opération culturale, réalisable avant ou peu après le semis, destinée à accroître la quantité d'eau infiltrée dans le "réservoir-sol" sur des sols compacts en surface et donc sensibles au ruissellement. Pour les sols développés sur matériau dunaire, de telles opérations culturales présentent peu d'intérêt.

Lors d'expérimentations menées dans un village du centre du bassin arachidier au Sénégal, DIOUF (1990) a mis en évidence le rôle positif de l'alimentation azotée en début de cycle dans la résistance à la sécheresse, mais une plus forte sensibilité au déficit hydrique pour les situations bien alimentées en azote en fin de cycle.

Le phosphore disponible apparaît limitant lors de plusieurs phases du cycle (levée et élaboration du nombre d'épis), et ce d'autant plus que les sols où le mil est cultivé en sont généralement peu pourvus et que cet élément diffuse peu. Son rôle reste à éclaircir dans la phase d'élaboration du nombre de grains.

Un démariage apparaît nécessaire car les talles non fructifères mobilisent, à partir de la formation des épis jusqu'à la maturation, des ressources qui limitent la production d'épis et de grains sur ces épis. Mais, compte tenu des phénomènes de compensation déjà décrits, les producteurs préfèrent le plus souvent échelonner cette intervention en laissant un nombre de pieds variable, plutôt que de risquer leur culture avec un démariage précoce et sévère, qui peut être préjudiciable en cas de sécheresse précoce (GARIN et THIAM, 1989 ; DUGUE et SENE, 1990).

De façon générale, le mil possède des capacités d'adaptation aux variations des conditions de milieu par l'ajustement de sa population de talles fructifères. La pauvreté du milieu semble diminuer la compétition pour l'eau en limitant la quantité de talles fructifères possibles. En termes d'amélioration de la production, cela signifie que devraient être proposées des innovations associant amélioration de la réserve hydrique et amélioration de l'alimentation minérale des plantes.

Amélioration variétale

L'allogamie du mil impose des méthodes d'amélioration variétale proches de celles utilisées pour le maïs. Les formes variétales qui ont été travaillées par les sélectionneurs sont les suivantes : populations améliorées, variétés synthétiques et formules hybrides.

La forte croissance végétative du mil induisant un rapport grain/paille défavorable par rapport aux autres céréales, des travaux de sélection ont été conduits dans le but de modifier l'architecture de la plante (mils nains) et de favoriser ainsi la production de grain, en valorisant mieux la fertilisation azotée dans une perspective d'intensification de la production.

Plus récemment, du matériel végétal sélectionné en Inde a été introduit au Sahel.

Les objectifs de sélection sont les suivants :

- productivité et régularité du rendement ;
- remplissage des épis ;
- amélioration du rapport grain/paille.

Chez les populations locales, les maladies sont rarement un facteur limitant, et sur les introductions sensibles les croisements avec une variété locale suivis d'un ou deux rétrocroisements peuvent résoudre cette difficulté.

L'amélioration variétale offre peu de perspectives en termes de résistance aux insectes, pour laquelle l'adaptation des cycles végétatifs reste la méthode la plus efficace.

Mils traditionnels : populations améliorées et variétés synthétiques

Les travaux d'amélioration ont concerné les populations locales à cycle long ou à cycle court dans les pays d'origine de ces populations.

De ces travaux par sélection massale ou sélection pedigree massale sont issus des cultivars de cycle court et de cycle long présentant des potentiels de rendement en grain de l'ordre de 2,5 t/ha.

Pour les mils de cycle court (90-105 jours), on dispose pour la vulgarisation des cultivars Souna PC 28 (Sénégal), P3 Kolo (Niger), des populations Hainel (Niger), plus ou moins précoces (HKN et HKP), et de l'IRAT P3 (Mali).

Pour les mils de cycle long (120 jours et plus), on dispose pour la vulgarisation des cultivars IRAT P4 et IRAT P5 (Mali) et de la population Zalla (Burkina Faso).

La méthode de sélection récurrente avec top-cross a donné des résultats intéressants proposables à la vulgarisation pour les mils de cycle court, le Souna III (Sénégal), 90 jours, et pour les mils de cycle long, le synthétique 71 de Saria (Burkina Faso).

La méthode de sélection récurrente avec test S1 a permis d'obtenir des mils de cycle court, population SRM Dori (Burkina Faso), et des mils de cycle long (sensiblement réduit), SRM9 et SRM12 (Burkina Faso).

La multiplication des populations synthétiques ne pose pas de problème particulier, si ce n'est le respect de l'éloignement des parcelles de multiplication (1 500 à 2 000 m) de tout autre champ de mil. Ces conditions n'étant pas remplies en champ paysan, il conviendrait de prévoir un renouvellement des semences au mieux tous les ans.

Ces populations ou cultivars présentent en conditions de station des rendements en grain régulièrement supérieurs à 2 t/ha et souvent de l'ordre de 2,5 t/ha. On peut rappeler ici que ces potentiels de rendement expriment également l'interaction "plante cultivée x conditions de milieu" (incluant le type de sol, les conditions pluviométriques et les techniques culturales appliquées au peuplement végétal). Dans ces conditions de "milieu amélioré", l'impact des variations de la pluviométrie sur les rendements se trouve sérieusement amorti, comme en témoigne la série chronologique des rendements du mil Souna III à Bambey entre 1971 et 1978 (tableau I).

Tableau I. Rendements du mil Souna III et pluviométrie à Bambey (1971-1978).
D'après LAMBERT, 1983.

Année	Rendement (kg/ha)	Pluviométrie (mm)
1971	2 165	571
1972	1 980	377
1973	2 380	402
1974	2 760	471
1975	2 230	494
1976	2 085	390
1977	2 015	383
1978	2 545	688

Il est donc à recommander que l'amélioration des conditions de milieu et des capacités d'intervention technique des paysans accompagne nécessairement tout programme de diffusion de variétés améliorées.

Formules hybrides

Les travaux visant à exploiter l'effet d'hétérosis par hybridation à partir essentiellement de lignées Souma ont certes donné des résultats intéressants sur le plan des rendements (3 à 3,5 t/ha) mais n'ont pas été poursuivis, compte tenu de l'organisation et de la technicité du service semencier que cela suppose lorsque l'on passe au stade de la diffusion.

Modification de l'architecture

L'objectif de sélection était de créer un mil à paille courte, à rendement élevé, à tallage moyen et cycle court.

La création de populations naines à partir de variétés locales améliorées croisées à des lignées introduites des USA, de l'Inde, et ayant un gène de nanisme, a débuté dans les années 70 au Sénégal, au Mali et au Niger. A la fin des années 70 et au début des années 80, cette sélection a abouti à des populations aux trois quarts africaines naines (rapport grain/paille en moyenne de 0,38 au lieu de 0,15 à 0,25 pour les populations traditionnelles), avec un potentiel de production proche des populations locales améliorées. Mais ces populations naines étaient le plus souvent hétérogènes pour le cycle, la morphologie, et sensibles aux parasites et aux maladies (LAMBERT, 1983).

On ne dispose pas encore de populations naines qui puissent être diffusées, après avoir évalué en champ paysan leur comportement vis-à-vis de conditions de culture difficiles (peu ou pas d'intrants, peu ou pas de travail du sol, mauvaise maîtrise de l'enherbement, résistance aux stress hydriques).

Les introductions

Les introductions de matériel végétal sélectionné en Inde se sont avérées inadaptées aux conditions sahéliennes. Des différences importantes existent en effet entre les conditions de culture des mils au Sahel et celles rencontrées en Inde, où les travaux de sélection avaient débouché sur une diffusion massive de ces variétés en milieu paysan.

Ces différences se manifestent notamment dans la nature des sols (BOURGEON, 1990) :

- proportion de vertisols beaucoup plus importante en Inde qu'au Sahel ;
- capacité d'échange cationique (CEC) élevée et pH non acide pour les sols fersiallitiques indiens, contrairement aux sols ferrugineux sahéliens.

Ces différences sont également présentes pour ce qui est des conditions de milieu, qui se caractérisent en Inde par un usage plus intensif du sol et une maîtrise de l'irrigation bien plus développée, dans certaines situations tout au moins.

MATLON (1985) résume ainsi les essais menés au Burkina Faso pour introduire des variétés "Elite" sélectionnées par l'ICRISAT en Inde : *"Sur quelque 3 000 entrées de mil criblées, cinq cultivars ont été avancés en essais dans les champs mais aucune variété supérieure n'a encore été identifiée."*

Ces résultats ont amené les chercheurs à définir de nouveaux protocoles expérimentaux qui prennent en compte les facteurs de stress rencontrés sur les parcelles paysannes et donnent davantage d'importance à la stabilité de rendement, la tolérance aux stress environnementaux comme critères de sélection, en privilégiant le génome ouest-africain comme base de sélection.

Des résultats spectaculaires ne sont cependant pas à attendre dans le court terme, où l'essentiel des cultivars disponibles pour la vulgarisation reste les populations locales améliorées et les variétés synthétiques.

Amélioration des conditions de culture

Les éléments précédents peuvent être utilement complétés en faisant référence à des travaux récents conduits en milieu paysan au Sénégal, qui comparent le Souna III et le mil local (base Souna III) avec des mils nains créés localement (GAM 8203 et 8301) et des variétés ICRISAT (IBV 8001 et IBV 8004) dans deux situations agro-pédologiques (sols sableux de terrasse et sols limono-argileux de plateau) en zone soudano-sahélienne (THIAM et SENE, 1988).

Les conclusions partielles sont les suivantes :

- sur sols sableux de terrasse, les variétés introduites n'ont pas montré de meilleurs rendements quel que soit le système de culture considéré (champs de case fumés en mil continu, champs de brousse non fumés en mil-arachide) ;
- sur sols limono-argileux de plateau, il n'y a pas de différence significative entre les variétés mais la précocité de la variété IBV 8001 la rend sujette aux attaques d'oiseaux ;
- quel que soit le type de milieu, les variétés créées ou introduites (GAM et IBV) montrent une moindre réponse à l'engrais que le matériel local ou le Souna III.

Par ailleurs, les paysans semblent préférer le Souna III, lequel se rapproche du témoin local pour le caractère groupé de sa floraison qui le rend moins sensible aux attaques de cantharides en fin de cycle. Les pailles hautes pour la construction des tapades et la relative stabilité de rendement du Souna III sont également évoquées par les paysans.

Malgré tout, le caractère de précocité de l'IBV 8001 peut revêtir un certain intérêt, d'une part par les possibilités d'étalement du calendrier de récolte (concurrency des récoltes de mil et d'arachide) qui sont ainsi offertes et, d'autre part, par la possibilité d'effectuer des semis tardifs (seconde quinzaine de juillet) en minimisant les risques d'échec.

Malgré le caractère ponctuel de ces observations par rapport à la diversité des situations de culture paysanne du mil au Sahel et compte tenu de l'écart général entre les rendements paysans (300 à 800 kg/ha) et le potentiel des variétés disponibles (2,5 t/ha), on peut avancer l'idée que les augmentations de productivité proviendront dans le court terme essentiellement de l'amélioration des conditions de culture, et que les progrès attendus de l'amélioration variétale des mils ouest-africains sur la base du génome resteront limités à court terme et dépendront de la même façon de l'amélioration du milieu et des techniques culturales. Nous rejoignons ainsi les conclusions de MATLON (1985), établies à partir des travaux de l'ICRISAT au Burkina Faso.

Défense des cultures

WILLIAMS et ANDREWS (1982) ont fait un bilan des connaissances sur les principaux ennemis du mil en hiérarchisant leur importance relative.

- En Afrique de l'Ouest, les maladies qui ont un impact économique certain sur la production du mil sont d'origine fongique :
 - le mildiou, dont l'agent est *Sclerospora graminicola* ;
 - le charbon, dont l'agent est *Tolyposporium penicillariae* ;

• l'ergot, dont l'agent est *Claviceps fusiformis*, qui reste potentiellement dangereux mais ne présente aucun caractère de gravité pour l'instant (SELVARAJ, 1987).

Les populations locales de mil présentent des niveaux de résistance intéressants, conservés dans le Souma III par exemple, qui est résistant au charbon et tolérant au mildiou.

Des agents pathogènes peuvent intervenir au moment des semis, surtout si celui-ci est réalisé en sec, et se traduisent par une densité de peuplement moindre. Des expérimentations anciennes au Sénégal et plus récentes au Mali montrent que la désinfection des semences à partir d'un mélange fongicide-insecticide pouvait apporter des gains de productivité en parcelles paysannes compris entre 10 et 16 % (par kg de semence, mélange de 0,625 g de TMTD + 0,625 g d'heptachlore + 1,5 g de métalaxyl dans les régions infectées de mildiou ou 0,5 g de benomyl dans le cas contraire) (RAMAIAH et WERDER, 1987).

Dans de nombreuses situations, le parasite racinaire *Striga hermonthica* représente une contrainte majeure qui limite fortement les rendements de mil. Plusieurs sources de résistance ont été identifiées dans des populations locales mais il ne semble pas que l'espoir de progrès rapides dans ce domaine soit réaliste à court terme. (RAMAIAH et WERDER, 1987). En termes de lutte active, non génétique, la mise en rotation des parcelles et la possibilité d'assurer un entretien correct de la fertilité paraissent être deux composantes complémentaires et efficaces dans la lutte contre le striga.

• L'importance des pertes dues aux attaques d'insectes est reconnue pour l'ensemble des pays sahéliens.

Ces attaques concernent tous les stades du développement de la plante :

- au semis, ce sont les iules qui représentent le risque le plus important ;
- de la levée à la récolte, les sauteriaux sont le principal danger au Sahel même si d'autres insectes peuvent avoir une incidence négative mais de façon plus ponctuelle ;

- les dégâts les plus graves et les plus fréquents sont causés aux tiges par les foreurs *Acigona ignefusalis* sur les variétés tardives et aux épis par les cécidomyies (cinq espèces importantes) et les mineuses de l'épi (genres : *Raghuva*, *Masalia* et *Adisura*).

Plus récemment, certaines espèces de méloïdés ont provoqué des dégâts importants au Sahel. L'incidence de ces ravageurs sur les rendements du mil est très dépendante des conditions locales et très variable d'une année sur l'autre.

• Les méthodes de lutte mises au point par la recherche combinent la lutte chimique, les pratiques culturales spécifiques et l'exploitation de la résistance variétale pour certains ravageurs.

La lutte chimique ne paraît pas constituer une réponse économiquement viable aux attaques d'insectes sauf en matière de lutte contre les sauteriaux. Dans les autres cas, on se heurte rapidement aux contraintes de disponibilités, de coût et d'effets secondaires parfois néfastes des produits proposés (rémanence, toxicité...).

Le ramassage des tiges pour l'alimentation du bétail permet de réduire la pression d'*Acigona ignefusalis* alors que la pratique du brûlis doit être limitée aux infestations graves compte tenu de la perte en fourrage qu'elle implique.

Les résistances variétales exploitables concernent surtout la mineuse de l'épi (*Raghuva albipunctella*), le foreur des tiges (*Acigona ignefusalis*) et le complexe des méloïdés.

Dans la plupart des situations sahéliennes et sahélo-soudaniennes, on a pu observer une recrudescence des attaques sur le mil depuis une dizaine d'années. Outre le problème aigu des sauteriaux (1985-86), cette augmentation peut être liée à la réduction voire à l'abandon des jachères (striga) et dans certains cas à l'absence de rotations, par exemple avec le mil en culture continue (DUGUE, comm. pers.).

Les systèmes plus intensifs

Une intensification nécessaire

Le contexte économique actuel des pays du Sahel n'est guère encourageant pour l'accroissement de la productivité des champs de mil. Les rendements obtenus restent très largement tributaires des aléas climatiques et les paysans s'efforcent généralement de limiter ces variations, à un moindre coût monétaire et en travail, sans forcément viser un objectif de rendement maximal. Dans bien des cas, au contraire, l'objectif des producteurs est d'assurer la satisfaction des besoins vivriers du groupe familial. Le marché peu sécurisé du mil auquel il faut ajouter la concurrence des céréales importées sont autant de facteurs de risques financiers qui freinent l'intensification de cette culture chez des producteurs qui ont généralement de très faibles capacités d'investissement.

Pourtant, l'accroissement de la population et la saturation foncière dans la plupart des régions sahéliennes rendent cette intensification nécessaire. Dans une perspective de satisfaction immédiate des besoins alimentaires, *"une augmentation moyenne des rendements de l'ordre de 100 kg/ha serait dans le court terme sans doute suffisante pour répondre aux besoins céréaliers"* (MILLEVILLE, 1989). Pour des régions septentrionales comme l'Oudalan au Burkina Faso, où les rendements moyens n'excèdent pas 250 kg/ha, cela représente un accroissement de 10 à 30 % des rendements moyens, suivant les zones et les années.

De nombreuses propositions techniques sont disponibles, en dehors des acquis dans le domaine variétal déjà évoqués, mais leur pertinence ne peut s'apprécier qu'au regard de systèmes de production bien caractérisés.

La diversité des systèmes de production

De manière schématique les principaux facteurs de cette diversité à prendre en compte sont les suivants :

- est-on en culture manuelle ou attelée, quelles sont les perspectives de développement de la culture attelée ?
- quelles sont les relations entre agriculture et élevage (fertilisation organique, jachère pâturée ou non, utilisation des résidus de culture, place de l'arbre dans le paysage, dynamique d'évolution de l'espace cultivé par rapport à l'espace pastoral) ?
- quels sont les systèmes de culture dominants : céréales continues, rotation céréales-légumineuses, cultures de céréales pures ou associées ; les possibilités de développer les successions ou rotations céréales-légumineuses (arachide, niébé particulièrement) doivent être privilégiées ;
- la diversité des unités morphopédologiques sur lesquelles le mil est cultivé ;
- les stratégies dominantes des producteurs pour pallier les risques climatiques (extension des surfaces cultivées, émigration, diversification des activités, place de la production de mil et des autres activités dans la satisfaction des besoins alimentaires et monétaires)

D'une manière générale, les innovations proposées doivent pouvoir s'insérer dans le calendrier agricole sans accroître les risques de mauvaise récolte en cas de conditions pluviométriques défavorables pour le mil ou les autres cultures du système de production. En outre, ces propositions devront rester peu coûteuses pour ne pas augmenter exagérément les risques financiers des exploitations.

Des propositions techniques disponibles

Etant donné la diversité des milieux au Sahel, il est exclu de présenter ici des résultats généralisables mais de recommander qu'en matière de recherche appliquée soit prise en compte cette diversité à l'échelle de la petite région agricole.

A titre d'illustration, nous présenterons succinctement les acquis disponibles, d'une part, au Sénégal avec les travaux de l'IRAT et de l'ISRA synthétisés par MONNIER (1976), et poursuivis par l'ISRA au Siné-Saloum et au Burkina Faso, d'autre part dans le cadre du programme de recherche-développement du CIRAD-DSA au Yatenga et de recherche de l'ORSTOM dans l'Oudalan, synthétisés respectivement par DUGUE (1989) et MILLEVILLE (1989).

■ Au Sénégal

Le mil est généralement conduit en rotation avec l'arachide (plus rarement avec du niébé en zone nord) ou en culture continue avec restitution organique, mais toujours en culture attelée, essentiellement équine ou asine, parfois bovine.

Les recommandations techniques sont les suivantes.

□ Travail du sol

Compte tenu des calendriers culturels existants, le labour avant le mil semble exclu des itinéraires techniques à vulgariser.

Un scarifiage en sec superficiel de 6 à 9 cm de profondeur améliore l'infiltration de l'eau et favorise l'installation rapide du peuplement sur les sols limono-argileux.

Les premières estimations de l'impact de cette technique sont comprises entre + 100 à 200 kg/ha (SENE et GARIN, 1988 ; DUGUE et SENE, 1990), et jusqu'à 350 kg/ha associé à un microbuttage précoce (SENE et GARIN, 1988). Le même travail en humide semble tout aussi favorable (SENE et GARIN, 1988) mais son insertion dans le calendrier cultural se heurte aux mêmes limites que le labour. La contrainte majeure à cette opération réside dans l'utilisation obligatoire d'une paire de bœufs.

Sur sol sableux, aucun travail du sol n'est à préconiser, cette constatation rejoignant les observations faites au Yatenga (DUGUE, 1989) et dans l'Oudalan (MILLEVILLE, 1989).

□ Fertilisation

Les anciennes recommandations basées sur l'application de 150 kg de 10-21-21 et de 100 kg d'urée en deux apports se sont révélées trop risquées et d'une rentabilité discutable (2 kg de grain en plus par kg d'engrais utilisé en conditions paysannes, les années moyennes à bonnes), compte tenu de la réduction de la pluviométrie et du renchérissement des engrais.

L'intérêt des phosphates naturels, de la chaux, de la potasse seule ou de faibles doses de ternaire reste à valider par système de culture et type de milieu (ANGE et GOZE, 1983 ; GARIN et THIAM, 1989 ; DUGUE et SENE, 1990 ; CATTAN, 1987 ; IRAT-DRN, 1989).

"Le premier facteur de stabilisation des rendements et d'efficacité de la fertilisation est la lutte contre le ruissellement en nappe" sur les milieux à toposéquences marquées (IRAT-DRN, 1989).

Dans la situation du bassin arachidier au Sénégal, les apports de fumure organique sous forme de parcage ou de fumier contribuent à augmenter les niveaux de

phosphore assimilable (dans des sols généralement carencés), et les peuplements qui en bénéficient présentent une meilleure résistance au déficit hydrique (DIOUF, 1990).

Les recommandations en matière de fumure organique (doses, qualité, fréquence...) restent cependant à définir en fonction des situations morphopédologiques et des systèmes de culture considérés.

□ Mise en place et entretien des cultures

Le semis en sec au semoir attelé est possible si la texture du sol est relativement homogène, et sableuse en surface. Sinon le semis manuel traditionnel de poquets distants de 0,9 m "au carré" (ce qui facilite les sarclages mécaniques ultérieurs) peut être suffisamment rapide en humide pour ne pas compromettre la réussite de la culture, comme cela a été vérifié dans l'Oudalan (MILLEVILLE, 1989).

Le semis mécanique en humide est préférable dans les zones sud, pour mieux caler le cycle et les entretiens, sauf en cas d'arrivée tardive des pluies (après le 10 juillet).

La nécessité d'une désinfection des semences a déjà été évoquée.

Le mil est surtout sensible à un entretien très précoce qui justifie à lui seul l'introduction de la traction attelée pour cette culture, le premier sarclage devant intervenir moins de 10 jours après la levée (FONTANEL, 1987). Quelques estimations en parcelles paysannes font état de pertes de 20 à 40 kg/ha par jour de retard après le 15^e jour suivant le semis, au centre du Sénégal (GARIN et THIAM, 1989 ; DUGUE et SENE, 1990).

Deux autres sarclages effectués avant le 45^e jour du cycle garantissent un faible impact de la flore adventice sur le rendement (MONNIER, 1976).

L'incidence du démariage doit être validée dans les conditions de culture actuelles des producteurs (forts risques hydriques en début d'hivernage, faibles niveaux d'intrants, pas de travail du sol). Les références anciennes de trois plants par poquet issus d'un démariage effectué moins de 15 jours après la levée (MONNIER, 1976) n'ont jamais été appliquées à grande échelle par les producteurs.

Compte tenu de l'importance de l'élevage, il semble opportun de poursuivre des recherches sur l'implantation de niébé précoce à vocation éventuellement fourragère, en intercalaire et en dérobée du mil au moment du dernier sarclage.

□ Agroforesterie

Dans les parcs arborés anciens du Sahel, 20 à 30 *Faidherbia albida* à l'hectare offraient un surplus de production de l'ordre de 15 %, grâce à la fois à l'amélioration de l'ensemble des composants physico-chimiques du sol et à la réduction de l'évapotranspiration, sous leur houpier (CHARREAU et VIDAL, 1965 ; DANCETTE, 1983). Si les bienfaits de cet arbre fourrager sont reconnus de longue date par la majorité des sociétés agraires du Sahel, l'extension voire la simple régénération de ce type de parc se heurte à la délicate implantation naturelle de cette espèce. Celle-ci nécessite d'une part un reliquat d'eau dans le sol d'environ 200-250 mm par an, qui doit être fourni par une nappe à faible profondeur (DANCETTE, 1983), et d'autre part une protection contre la dent du bétail et les outils de sarclage pendant les deux premières années. Une gestion concertée de l'espace s'avère nécessaire pour lever ces contraintes.

■ Au Yatenga, Burkina Faso (DUGUE, 1989)

Dans les zones où la saturation foncière n'est pas atteinte, l'accroissement de la production par unité de surface ne s'accorde pas avec les stratégies antialéatoires de la majorité des producteurs. Cependant, il semble possible de promouvoir des

interventions visant à faciliter la réimplantation de la jachère dans la rotation habituelle céréale-jachère. L'accroissement des capacités de charge animale qui en découlerait ouvrirait des perspectives de développement des systèmes d'élevage tout en favorisant le maintien du potentiel de fertilité par un accroissement de la fumure organique.

Dans les zones où la saturation foncière est atteinte, la grande majorité des agriculteurs ne possède pas de matériel de culture attelée. Pour ceux qui peuvent y avoir accès, les recommandations sont proches de celles relatives au Sénégal. Pour les autres, les limites de la capacité de travail impliquent d'intensifier sur une partie seulement de l'exploitation (1 à 2 ha).

Ces "pôles d'intensification" seraient concentrés en bordure de bas-fond ou en bas-fond (si les excès d'eau sont contrôlés), avec les recommandations suivantes :

- pour les sols argileux ou argilo-sableux bien alimentés en eau, le sorgho pourrait être préféré au mil ; dans des situations intermédiaires, non inondables, on peut préconiser soit le mil, soit l'association mil-sorgho ;
- un aménagement rigoureux permettant éventuellement soit des irrigations d'appoint, soit une récupération des eaux de ruissellement pour une deuxième culture de début de saison sèche autre que le mil ;
- un travail du sol ou buttage des céréales en manuel sur de petites surfaces ;
- une concentration des faibles disponibilités en intrants sur cette zone (50 kg de ternaire à l'hectare par exemple), test de phosphates naturels, fertilisation organique systématique ;
- le développement de cultures associées ou en dérobée, destinées à la vente (légumes, fruitiers).

Sur le reste de l'exploitation, la culture principale restant le mil, on peut préconiser :

- l'aménagement de l'espace de manière à contrôler le ruissellement ;
- le compostage des résidus de culture en bout de champ après un hivernage favorable et, s'il n'y a pas de possibilité de transporter les pailles à l'enclos pour faire du vrai fumier, de la poudrette de parc ;
- accroître la surface cultivable en régénérant des terrains décapés ("zipelle") ;
- favoriser à moyen terme l'équipement en matériel de culture attelée, à partir des pôles d'intensification, avec un âne et une houe "manga", de façon à améliorer la lutte contre l'enherbement.

Des orientations pour la recherche

Ces propositions d'innovations techniques ne représentent qu'une partie de la composante "amélioration du milieu physique", qu'il conviendrait de développer afin de valoriser au mieux les potentialités du mil et les améliorations techniques que peut proposer la recherche.

Face aux difficultés actuelles pour intensifier la culture de mil à partir d'intrants onéreux (engrais minéraux, matériel agricole...), il paraît judicieux de favoriser des travaux de recherche-développement sur l'intégration des ligneux aux cultures (en ayant soin de sélectionner des ligneux présentant un intérêt commercial direct ou indirect pour les producteurs) ainsi que sur l'utilisation optimale de la fumure organique (DUGUE, 1989).

Lutte antilérosive (éolienne et hydrique), amélioration de la gestion des flux hydriques dans les paysages et rôle de l'arbre, en particulier *Faidherbia albida*, représentent des enjeux extrêmement importants pour la pérennité des systèmes de culture à base de mil dans le Sahel.

La diffusion de ces techniques – qui sont réellement disponibles – dans les conditions de précarité économique des Etats de la région rend nécessaire le développement des outils de diagnostic agronomique à l'échelle de la petite région agricole. La faiblesse des économies requiert plus que jamais une hiérarchisation pertinente des facteurs limitants au niveau de la petite région, qui permettront de raisonner l'allocation optimale des facteurs de production dans le cadre de programmes de développement.

L'amélioration de la production au-delà du seuil de satisfaction des besoins alimentaires directs des populations rurales rend indispensable le développement coordonné de recherches associant agronomes, technologues alimentaires, socio-économistes et macro-économistes, plus particulièrement orientées vers :

- la valorisation des céréales locales (mil, mais aussi sorgho) sur les marchés urbains ;
- la stabilisation des marchés céréaliers, laquelle garantit une sécurité de revenu au producteur ;
- les possibilités de diversification de l'utilisation des céréales sahéliennes ;
- la protection raisonnée des marchés céréaliers intérieurs, qui n'apparaît pas encore à tous comme une évidence malgré le différentiel de productivité existant entre les agricultures sahéliennes et les agricultures des pays développés.

Ces quelques orientations techniques et économiques semblent être les conditions minimales préalables à un développement de la production de mil au Sahel.

Bibliographie

ANGE A., 1985. Stratification des paysages agraires pour l'identification des contraintes à la production agricole, la mise au point et l'essai de solutions techniques. *In* : Actes de l'atelier "La recherche agronomique en milieu paysan", Nianing (Sénégal), mai 1985. Dakar, ISRA, p. 40-53.

ANGE A., GOZE E., 1983. Valorisation de la fumure vulgarisée sur le mil en parcelles paysannes par l'emploi d'amendements calcaires, de fertilisation potassique de complément et de faibles doses de fumier. Dakar, ISRA, 16 p.

BOURGEON G., 1990. Sols rouges indiens et sols ferrugineux tropicaux : différences et implications agronomiques. *In* : Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales. Actes des journées de la DRN, Montpellier (France), 12-15 septembre 1989. Montpellier, CIRAD-IRAT, p. 75-81.

CATTAN P., 1987. La fertilisation économique adaptée à l'arachide dans la rotation des cultures. Montpellier, IRHO, 92 p.

CHABERT J.P., HERVE D., MILLEVILLE P., 1990. Labours en pays de coopération. Catalogue pour une exposition itinérante. Paris, AFMA, 111 p.

CHARREAU C., POULAIN J.F., 1963. La fertilisation des mils et sorghos. *L'Agron. Trop.*, 18 (1) : 53-63.

CHARREAU C., VIDAL P., 1965. Influence de l'*Acacia albida* Del. sur le sol, nutrition minérale et rendements des mils *Pennisetum* au Sénégal. *L'Agron. Trop.*, 20 (6-7) : 600-626.

CHOPART J.L., 1980. Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, riz pluvial). Thèse de doctorat, INP, Toulouse, 160 p.

DANCETTE C., 1983. Besoins en eau du mil au Sénégal. Adaptation en zone semi-aride tropicale. *L'Agron. Trop.*, 38 (4) : 267-280.

DIOUF M., 1990. Analyse de l'élaboration du rendement du mil (*Pennisetum typhoides* Stapf et Hubb.). Mise au point d'une méthode de diagnostic en parcelles paysannes. Thèse de doctorat, INA-PG, 227 p.

DUGUE P., 1989. Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de cultures vivrières en zone soudano-sahélienne. Le cas du Yatenga. Montpellier, CIRAD-DSA, 350 p. (coll. Documents systèmes agraires, n° 9).

DUGUE P., SENE M.B., 1990. Rapport de synthèse 1989 sur le volet agronomie du programme système de production Siné-Saloum. Kaolack, ISRA, 22 p.

FONTANEL P., 1987. Groupements adventices et facteurs écologiques et cultureux, comportement des espèces dans le cycle cultural, efficacité des désherbages paysans et voies d'amélioration au Siné-Saloum, Sénégal. Montpellier, IRAT, 60 p.

GABAS J.J., GIRI J., 1987. Bilan de la situation alimentaire dans le Sahel. *In* : Les politiques céréalières dans les pays du Sahel. Actes du colloque de Mindelo (Cap-Vert), 1-6 décembre 1986. Paris, OCDE, Ouagadougou, CILSS, p. 59-68.

GARIN P., THIAM A., 1989. Phytotechnie du mil à Sob, village du Siné, en 1988. Kaolack, ISRA, 14 p.

IRAT-DRN, 1989. Principaux résultats des agronomes de l'IRAT pour le programme

fertilité des sols et gestion des ressources naturelles. Campagnes agricoles 1987-1988. Montpellier, CIRAD-IRAT, 66 p.

JUNCKER E., FOREST F., REYNIERS F.N., 1992. Le climat. In : Le développement agricole au Sahel. Tome I : Milieux et défis. P.M. Bosc, V. Dollé, P. Garin, J.M. Yung (éd.). Montpellier, CIRAD-SAR, p. 59-79 (coll. Documents systèmes agraires, n° 17).

LAMBERT C., 1983. L'IRAT et l'amélioration du mil. Présentation des travaux. L'Agron. Trop., 38 (1) : 78-88.

MATLON P.J., 1985. Analyse critique des objectifs, méthodes et progrès accomplis à ce jour dans l'amélioration du sorgho et du mil : une étude de cas de l'ICRISAT, Burkina Faso. In : Technologies appropriées pour les paysans des zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest. Université de Purdue, p. 181-211.

MONNIER J., 1976. Fichier de références concernant les techniques de culture dites intensives proposées dans le Saloum. In : Première approche agro-socio-économique de l'exploitation agricole dans le Saloum : conséquences sur les possibilités d'intensification des systèmes de production traditionnels et post-traditionnels. Dakar, ISRA, 70 p.

MILLEVILLE P., 1989. Conditions sahéliennes et systèmes de culture du mil. Rev. Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride, 1 : 83-106.

RAMAIAH K.V., WERDER J., 1986. Screening pearl millet for resistance to *Striga hermonthica* in West Africa. In : Proceedings of the International pearl millet workshop, ICRISAT Center (India), 7-11 April 1986. Patancheru, ICRISAT, p. 314.

SELVARAJ J.C., 1987. Research on the management of pearl millet diseases in West Africa. In : Proceedings of the International pearl millet workshop, ICRISAT Center (India), 7-11 April 1986. Patancheru, ICRISAT.

SENE M., GARIN P., 1988. Essais de travail du sol à la dent en sec en traction bovine. Communication au séminaire international sur la traction animale, Nianing (Sénégal), ISRA, 10 p.

SIBAND P., 1981. Croissance, nutrition et production du mil (*Pennisetum typhoides*, Hubbard et Stapf). Essai d'analyse du fonctionnement du mil en zone sahélienne Thèse de doctorat d'Etat, Université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier.

THIAM A., SENE M., 1988. Etude du comportement en champs paysans de différentes variétés améliorées de mil hâtif au sud du Siné-Saloum. ISRA.

WILLIAMS R.J., ANDREWS D.J., 1982. Breeding for disease and pest resistance in pearl millet. In : FAO expert consultation on breeding for durable resistance in Africa, IITA, Ibadan (Nigeria), 25-29 October 1982.

Le sorgho

**Jean-Claude Mauboussin
CIRAD-CA**

Table des matières

La place du sorgho	39
Les principaux résultats de la recherche	40
Les recherches de base	40
Les recherches appliquées	40
Itinéraires techniques	42
En culture pluviale	42
Les sorghos de décrue	45
Les périmètres irrigués	47
Bibliographie	49

La place du sorgho

Le sorgho est généralement moins cultivé que le mil dans les régions sahéliennes d'Afrique de l'Ouest. GIGOU, dans son bilan sur la fertilisation (1986), a tracé la carte de sa répartition en fonction de celle du mil et du maïs.

Plusieurs raisons expliquent cette situation.

On constate que le sorgho n'est pas bien adapté aux sols sableux dominant dans la zone : on peut ainsi comparer la carte des ensembles dunaires et recouvrements sableux (PIERI, 1989) à celle de sa répartition. Une explication en serait une forte sensibilité à la toxicité aluminique dans ces sols à pH bas affectant la qualité de l'enracinement. Il existe cependant au Sénégal, au Mali et surtout au Niger des sorghos dits "dunaires" capables d'exploiter des sols sableux quand la saison des pluies est bien établie.

Le caractère plus aléatoire de la saison des pluies, du point de vue de la qualité, de la durée et de la répartition, lui est défavorable. Les risques encourus par un semis à la première pluie sont supérieurs à ceux encourus par le mil dans les mêmes conditions, étant donné l'enracinement plus lent du sorgho, qui supportera mal une sécheresse de début de cycle, surtout en sols sableux.

Il en est de même pour le risque à la floraison, car la brièveté de la saison des pluies conduit à l'utilisation de variétés non photopériodiques à cycle court dont le tallage faible ne permet pas une récupération par les talles. La floraison d'une parcelle étant resserrée dans le temps.

Enfin, surtout dans le sud de la zone, les pluies tardives au cours de la maturation risquent d'affecter la qualité des grains de ces sorghos à cycle court qui sont alors attaqués par les moisissures.

Cependant, on constate que le sorgho est toujours très utilisé dans certaines conditions ; en effet, ses besoins en eau sont très raisonnables et sa capacité d'extraction de l'eau des sols lourds et de résistance à l'engorgement est exceptionnelle (tableau I).

Tableau I. Besoins en eau du sorgho pendant la saison des pluies dans différentes conditions climatiques en Afrique de l'Ouest sahélienne.

Site	Variété	Longueur du cycle (jours)	Coefficient cultural				Besoins en eau (mm)
			Semis- montaison	Epiaison- floraison	Maturation	Cycle complet	
Bambey (Sénégal)	CE 67	90	0,55	0,93	0,76	0,70	390
Saria (Burkina Faso)	IRAT 277	110-120	0,73	0,93	0,99	0,90	482

Dans un cas extrême, on a pu en 1973 le comparer au mil : à Tarna (Niger) avec 223 mm et à Diemane (Sénégal) avec 223 mm. Les pluies étaient faibles mais bien réparties.

Le sorgho a donc sa place dans les systèmes traditionnels extensifs sans pluie, dès que l'on dispose de sols lourds avec des réserves en eau se constituant de façon brutale, parfois avec engorgement, qu'il sera la seule céréale capable d'utiliser au mieux jusqu'à la dernière goutte (cas des sorghos de décrue semés ou repiqués).

Il a aussi sa place dans des systèmes intensifs sur sols lourds, champs de case où la matière organique est disponible en conditions désaisonnées, avec irrigation.

Dans les deux cas, la résistance à l'engorgement rendra sa culture plus souple.

Les génotypes améliorés, en particulier les hybrides américains, africains (IRAT) ou indiens (CSH) dont le rapport grain/paille peut atteindre 0,5, permettraient (Inde, fleuve Sénégal) d'atteindre 10 à 12 tonnes de grain en trois cultures, en consommant 1 200 à 1 500 mm d'eau, ce qui constitue une performance très supérieure à celle du maïs et du riz.

On comprend donc que la recherche agronomique, tout en privilégiant le mil dans ces zones, ait toujours prêté une attention au sorgho quoique parfois avec des moyens insuffisants.

Les principaux résultats de la recherche*

Les recherches de base

Menées sur tous les types de sorgho en physiologie végétale, elles ont eu des retombées spécifiques sur la zone :

- définition précise des problèmes de photopériode, permettant l'utilisation rationnelle des variétés non photopériodiques à cycle constant et court et la compréhension des cycles des sorghos de décrue ;
- étude des problèmes d'enracinement, facilitant la mise au point des techniques culturales ;
- inventaire des maladies et parasites, permettant de définir dans la zone les contraintes réelles ;
- étude détaillée des moisissures des grains ;
- mise au point de critères technologiques quantitatifs en corrélation avec la qualité des produits.

Les recherches appliquées

Techniques culturales et amélioration des plantes ont été orientées vers les points faibles spécifiques au sorgho.

■ Valorisation des ressources en eau et en sels minéraux

Au gaspillage dû à un mauvais rapport grain/paille des ressources en eau et en éléments minéraux, les techniques agronomiques peuvent apporter une réponse : densités adaptées aux variétés, fumure azotée correcte associée à la fumure phosphatée, meilleure utilisation des pailles par le bétail.

Mais la réponse a été surtout recherchée par la création de variétés à architecture favorable, avec un tallage modéré ou nul, une taille allant de 1,20 à 2 m. Les variétés de ce type sont généralement non photopériodiques avec des cycles totaux ne dépassant pas 120 jours. On peut citer CE 90 créée au Sénégal et utilisée surtout au Mali, IRAT 204 utilisée dans plusieurs pays et IRAT 207, les hybrides IRAT 179, IRAT 181, NK 300.

Pour les sorghos repiqués ou de décrue, l'utilisation obligatoire de sorghos photopériodiques désaisonnés limite leur croissance ; aucune recherche n'a donc

* La plupart de ces acquis sont repris dans l'ouvrage "Le sorgho" (CHANTEREAU et NICOU, 1991).

été menée dans ce domaine où les paysans du Cameroun et du Tchad ont acquis une grande maîtrise.

■ Mise en place de la culture

Le problème lié à la mise en place assez lente de la culture a été abordé par les techniques culturales, à savoir la création d'un environnement favorable aux racines par la préparation du sol ; on en verra plus loin les résultats.

Mais surtout, les études entreprises dès les années 70, systématisées depuis, ont montré qu'il existait deux moyens de pallier cette difficulté :

- obtenir des semences donc des grains exempts de moisissures ;
- favoriser la composante génétique de la vigueur à la levée indépendante des moisissures.

La qualité de la semence a pu être obtenue :

- par la création de variétés résistantes aux moisissures ; on n'en a, en fait, trouvé que de moins sensibles, étant donné la complexité des moisissures responsables ;
- par la création et l'utilisation de variétés du cycle le plus étroitement adapté à la durée de la saison des pluies prévisible, semées à la date la plus favorable ;
- par le traitement des semences avec des mélanges fongicides-insecticides, peu coûteux.

La vigueur à la levée est un caractère génétique qui est héritable et peut être sélectionné au début du processus de création variétale. Des géniteurs ont été détectés (IS 12610, Naga White, Meloland) et utilisés ; certains de leurs descendants sont disponibles (IRAT 204 par exemple) et le processus se poursuit

■ Sensibilité aux insectes Cecidomyie (*Contarinia sorghicola*)

Les études effectuées au Sénégal ont permis de mettre en évidence la nécessité d'une floraison groupée, évitant ainsi des relais de génération du parasite. On doit donc éviter de mélanger les cycles, d'échelonner les semis, d'avoir une floraison trop étalée dans le temps (tallage, utilisation de populations locales trop hétérogènes).

Il existe une résistance variétale que l'on peut favoriser, mais le travail dans ce domaine est à son tout début :

- la mouche du pied *Atherigona varisocota* pose des problèmes en cas de culture relais : irrigation de contre-saison, semis décalés ; il existe des résistances mais un traitement par insecticide systémique au semis donne une protection efficace ;
- diverses punaises détériorent la qualité du grain, il existe cependant des variétés moins sensibles que d'autres.

■ Sensibilité au *Striga*

Il s'agit dans la zone surtout de *Striga hermontica*. La lutte est difficile car les dégâts causés sont amplifiés en conditions de faible fertilité et de déficit hydrique, donc en culture pluviale sur sols légers. Heureusement, il est beaucoup moins présent en sols lourds et en conditions de décrue.

La seule lutte efficace à l'heure actuelle est l'obtention de variétés tolérantes, qui peuvent servir de base à une lutte intégrée. Des géniteurs existent, mais il faudra un certain temps avant que l'on transfère la tolérance aux variétés utilisées dans la zone sahélienne.

■ Effet d'allélopathie

En sols sableux et sablo-argileux, on observe souvent un effet dépressif du sorgho sur la culture qui lui succède. Cette action se manifeste très fortement sur le sorgho lui-

même, puis avec une intensité décroissante sur le maïs, le cotonnier, et le mil. Dans les sols très sableux (4 à 8 % d'argile), le phénomène peut se manifester même sur arachide : baisse des rendements et de la qualité des semences.

Ce phénomène appelé "allélopathie du sorgho" provient de la décomposition des résidus de sorgho (racines, tiges, feuilles), qui provoque l'apparition de substances toxiques. Ces substances se décomposent elles-mêmes très lentement dans les sols sableux à faible activité biologique. On peut lutter contre ce phénomène en épandant du fumier pour accroître l'activité biologique ; c'est le cas des champs de case dans lesquels la culture continue de sorgho reste possible.

On doit également éviter d'abuser du sorgho en sols sableux, en étant conscient du risque ; en outre, dans ces sols, le sorgho héberge souvent le Peanut clump virus (PCV), très néfaste à l'arachide qui le suit.

En revanche, en sols lourds (taux d'argile supérieur à 25 %) et lorsque l'argile est en majorité de la montmorillonite, on observe en milieu paysan de longues successions continues sorgho-sorgho. C'est le cas des sorghos repiqués et des sorghos de décrue. On peut également, dans ce type de sols, pratiquer des cultures irriguées successives de sorgho.

■ Contrôle des maladies

Le sorgho est relativement peu atteint dans la zone. Les maladies dominantes sont la maladie des bandes de suie (*Ramulispora sorghi*) et celle des taches zonées (*Gloeocercospora sorghi*) en toutes conditions, ainsi que le charbon couvert (*Sporisorium sorghi*) en saison sèche fraîche avec irrigation.

Les cultivars locaux et les variétés actuelles ont un bon degré de tolérance à *Ramulispora* et *Gloeocercospora*.

Ramulispora et également *Gloeocercospora*, qui provoquent des nécroses foliaires, sont plus dommageables aux variétés de taille et cycle courts dont le nombre de feuilles est plus faible, les feuilles terminales qui nourrissent la panicule pouvant être atteintes. Le matériel exotique utilisé en sélection est souvent plus sensible et nécessite un contrôle de la sensibilité des variétés obtenues. Un traitement des semences au Thirame ou au Captame assure une protection totale pour le charbon couvert.

■ Technologie

Longtemps on a considéré les problèmes de qualité de grain comme importants mais difficiles à aborder en création variétale ; on se bornait à rechercher des caractères présumés favorables (vitrosité du grain pour l'utilisation en couscous par exemple) et à contrôler en fin de sélection la réaction de quelques consommateurs.

Les progrès récents réalisés par l'IRAT et des équipes américaines permettent maintenant de disposer de critères quantitatifs convenablement corrélés au goût du consommateur, en particulier pour la confection du "tô".

Itinéraires techniques

En culture pluviale

■ Préparation du sol

Dans la zone sahélienne, où le semis retardé n'est pas toujours possible, le travail du sol vise à faciliter l'installation de la culture.

Le labour pose un certain nombre de problèmes, en particulier dans les régions où le semis du sorgho doit être réalisé par les paysans dès les premières

pluies (cas du Sénégal). Dans ces conditions, on n'a pas intérêt à retarder le semis pour labourer, mais plutôt à recourir à des techniques de préparation en sec.

Le travail en culture attelée, avec des houes équipées de dents, des sols sableux et sablo-argileux peut apporter des suppléments de rendement non négligeables. Les résultats obtenus sont hétérogènes ; ils dépendent des conditions de réalisation, de la forme de la dent. L'efficacité repose sur la profondeur et la largeur de sol éclaté.

Dans les vertisols, qui représentent une proportion non négligeable des sols cultivés en sorgho pluvial, les effets du travail du sol n'ont pas été démontrés. Ces sols ont en effet une bonne structure et le système racinaire s'y développe dans de bonnes conditions.

■ Démariage

Il s'agit d'une opération importante, souvent négligée par le cultivateur. Pourtant, après un semis en poquets, il est indispensable d'éclaircir car une densité de plants trop importante peut être néfaste en cas de sécheresse.

Le démariage doit avoir lieu très précocement à partir de 8 jours après la levée et, de toute manière, pas après 15 jours. La plupart du temps, on laisse les trois plus belles plantes par poquet. Il n'est pas souhaitable de retarder le démariage sous prétexte que le sol est sec.

Malgré les résultats concordants et incontestables en de nombreuses situations, cette pratique ne fait pourtant pas l'unanimité. Il y a toujours des cas particuliers qui permettent de la contester.

■ Sarclage

En culture pluviale, tout retard dans la réalisation du premier désherbage entraîne une baisse importante des rendements. Il doit donc être effectué le plus tôt possible, "dès qu'on voit les lignes de sorgho levées". Pratiquement, le premier sarclobinage doit être réalisé en même temps que le démariage, donc en général entre 8 et 15 jours après la levée.

Le bloc de travaux premier sarclobinage-démariage-deuxième sarclobinage est essentiel pour la réussite d'une culture de sorgho. Il doit être regroupé au maximum sur un mois. Par la suite, un sarclobinage doit être réalisé 15 jours à trois semaines après le deuxième ; cela dépendra de la répartition des pluies. Suivant la taille des plants et donc la variété, on pourra ou on ne pourra pas passer avec les animaux.

Pour les vertisols, l'un des problèmes majeurs à résoudre en début de cycle est souvent celui de la concurrence des mauvaises herbes. Ces sols sont en effet difficiles à travailler et à désherber avec les instruments de sarclage en culture attelée. Pour l'instant, aucune technique parfaitement satisfaisante n'a été mise au point si ce n'est le désherbage manuel qui est long et pénible.

■ Herbicides

Leur utilisation sur sorgho est peu répandue. Pourtant les résultats obtenus montrent qu'un traitement chimique retarde le premier sarclage de 3 à 4 semaines et donc permet d'économiser un ou deux sarclages manuels ou sarclobinages mécaniques.

Le traitement le plus efficace est, à l'heure actuelle, l'association alachlore + atrazine en post-semis-prélevée ; il est cependant d'emploi délicat en sol trop sec ou très sableux.

Le coût des traitements herbicides reste élevé pour de petites exploitations paysannes dans le contexte d'une culture vivrière peu commercialisée.

■ Fertilisation

Les mobilisations minérales d'une culture de sorgho ont été déterminées en de nombreuses situations en Afrique de l'Ouest. D'une manière générale, on peut admettre les chiffres moyens suivants, pour 100 kg de grain :

- N, 3,5 kg dont 50 % dans le grain ;
- P_2O_5 , 1,0 à 1,5 kg dont 50 % dans le grain ;
- K_2O , 4 à 9 kg dont 90 % dans les pailles ;
- CaO, 1,1 kg dont 95 % dans les pailles ;
- MgO, 1,3 kg dont 75 % dans les pailles.

Ces chiffres moyens varient bien évidemment (surtout pour le potassium) en fonction de la variété locale ou améliorée, à pailles longues ou courtes, de la fertilité du sol, de la fertilisation minérale apportée, enfin de la pluviométrie.

A la lecture de ces chiffres, on mesure l'importance primordiale de la restitution des pailles sous une forme ou sous une autre dans la culture intensive du sorgho.

L'azote est le pivot de la fumure du sorgho. Pour produire 2 tonnes de grain à l'hectare, on estime qu'il faut apporter, suivant les situations, 35 à 45 kg/ha de N, mais les besoins instantanés en azote sont en général supérieurs chez les variétés améliorées à ceux des écotypes traditionnels.

Cet azote n'est complètement valorisé que si les quantités de phosphore disponibles pour la plante sont suffisantes et cela dépend de la richesse du sol en cet élément. Pour le même niveau de production de 2 t/ha de grain, une fumure d'entretien correcte se situe entre 20 et 30 kg/ha de P_2O_5 .

Le tableau II donne quelques exemples de fertilisations minérales recommandées dans différents pays.

Tableau II. Fertilisations minérales recommandées (kg/ha) pour des variétés locales et une production de 2 t/ha.

	Burkina Faso	Sénégal	Côte-d'Ivoire
N	37	43,0	43
P_2O_5	23	10,5	36
K_2O	14	10,5	36

On observe que, si les doses d'azote sont comparables, il y a des différences assez marquées en ce qui concerne P et K. Elles s'expliquent par les grandes variations au plan variétal et de fertilité des sols.

L'utilisation des phosphates naturels, très répandus en Afrique de l'Ouest, a conduit à préconiser un type de fertilisation utilisant au maximum les ressources locales :

- redressement de la carence phosphatée par un apport de 400 à 500 kg/ha de phosphate tricalcique broyé ;
- apport d'azote complémentaire sous forme d'urée au semis et au début de la montaison ;
- restitution des résidus de récolte (fumier, compost, pailles) pour régler le problème du potassium.

Ce type de fumure se heurte à un obstacle économique : le coût de l'investissement nécessaire pour effectuer l'amendement phosphaté. Ce problème n'a pas été résolu et on tente d'introduire les phosphates naturels dans des fumures d'entretien annuel en les rendant plus solubles par acidulation.

On considère donc que toute fertilisation minérale du sorgho doit être constituée sur la base d'un engrais binaire NP.

Le complément potassique dépendra de la richesse du sol en cet élément et de la quantité de paille restituée sous quelque forme que ce soit : enfouissement direct, compost, fumier, poudrette.

Mais la fumure minérale ne doit pas constituer un thème d'amélioration isolé. Elle doit être en particulier étroitement associée à la fumure organique, dont les effets directs ne sont plus à démontrer. En Afrique de l'Ouest, on estime qu'un apport de 5 t/ha de fumier tous les deux ans permet de maintenir le niveau de fertilité des sols, d'empêcher l'apparition des phénomènes d'acidification, tout en favorisant les augmentations de rendement.

■ Récolte et transformation

La récolte est restée manuelle, la taille plus courte des variétés recommandées permettant une récolte facile. Les variétés hybrides ou IRAT 204 autorisent une récolte mécanique avec quelques difficultés, car elles ne sont pas aussi courtes que les mécaniciens le souhaiteraient. Il existe des batteuses à sorgho (ou mil) fabriquées dans les pays du tiers monde (voir *Machinisme Agricole Tropical*, n° 93). Pour le stockage, des greniers améliorés et des techniques de désinsectisation ont été mis au point, mais pas spécifiquement pour le sorgho. Pour le décorticage et le broyage, de nombreux modèles de moulins ont été mis au point et fonctionnent assez correctement.

Les sorghos de décrue

■ Sorghos de décrue repiqués

Malgré l'intérêt des équipes de recherche pour ce type de culture, peu d'améliorations ont pu être apportées à des variétés et techniques par ailleurs très élaborées.

□ Variétés

Elles sont très diversifiées et leur adaptation tant à un terroir précis qu'aux habitudes alimentaires a fait que la diffusion d'une variété sur une large zone ne présentait pas d'intérêt. Les prospections tant des agronomes que des ethnobotanistes ont surtout permis de détecter des qualités de grain, que l'on essaye de transférer dans les variétés pour culture pluviale ou irriguée.

□ Techniques culturales

Préparation du sol

En raison de la position du cycle cultural du sorgho repiqué, l'eau constitue le principal facteur limitant de la production. Les techniques de préparation du sol devront viser à améliorer le stockage de l'eau dans le sol.

Pour les sorghos repiqués "muskwari", parmi les différentes techniques expérimentées, seul le labour réalisé en fin de saison des pluies avant repiquage s'est révélé intéressant par rapport au grattage traditionnel.

Pour les sorghos "babouri", aucune technique ne s'est révélée supérieure à la préparation traditionnelle à la houe.

Date de semis

Les "muskwari" sont semés en pépinières vers le 15 août dans les zones les plus septentrionales du Cameroun, vers le 15 septembre dans les zones les plus

méridionales. La date de repiquage est conditionnée par l'arrêt présumé des pluies ou par le retrait de l'eau sur les zones inondées.

Les "babouri" sont semés en pépinières faites sur billon entre le 15 juillet et le 15 août. Le repiquage intervient 3 à 5 semaines après le semis en pépinières.

Sarclage

Rien n'a pu être amélioré dans les techniques de sarclage et de récolte. La fertilisation n'apporte aucun supplément de rendement, l'eau étant le facteur limitant.

■ **Sorghos de décrue semés**

Surtout cultivés au Sénégal et au Mali, le point sur leur culture a été fait par SAPIN et REYNARD (1968). On peut, si c'est possible, préparer un terrain par sarclage avant la crue. Un terrain propre le restera après la crue. Aucune autre préparation n'est efficace.

□ Variétés

Une sélection ancienne effectuée par l'IRAT et la FAO a permis de retenir parmi les écotypes de la vallée du fleuve Sénégal deux variétés, RT 13 et RT 50, qui ont une bonne stabilité de rendement.

Pour le Mali, il existe des écotypes locaux plus ou moins stabilisés.

□ Date et mode de semis

Dans les terres de "ouallo" de la vallée du fleuve Sénégal, les sorghos de décrue sont semés en saison sèche dès que l'on peut pénétrer sur le terrain, soit 4 à 8 jours après le retrait des eaux. La meilleure date doit se situer en général pendant la deuxième décade du mois de novembre. Les variétés utilisées sont adaptées à ces conditions ; la décrue artificielle envisagée à titre transitoire par les experts de l'OMVS permettrait le maintien de ce type de culture.

Au Mali, la date de décrue peut être plus tardive, ce qui pose des problèmes de photopériode ; les variétés de sorgho utilisées par les paysans sont donc étroitement adaptées.

Sarclage

Un sarclage avant semis entraînerait un retard dans la mise en place de la culture. Un sarclage aussitôt après le semis est néfaste car il bouche les trous de semis avec une série de petites mottes aux arêtes tranchantes qui empêchent la plantule d'atteindre le niveau du sol. On peut effectuer un binage manuel dès que les plantules sont bien sorties à condition de le soigner. En traction animale, le meilleur moment semble être juste avant le démariage : on élimine ainsi les pieds abîmés au moment du choix des 2 ou 3 plants à retenir.

Fertilisation et récolte

Une fertilisation est possible dans la vallée du fleuve Sénégal ; une faible dose de perlurée dans un trou voisin de celui de semis permet de doubler les rendements, mais ce système double le travail au semis et n'a jamais été vulgarisé.

Rien n'a pu être amélioré dans les pratiques traditionnelles de récolte. Par ailleurs, le gardiennage contre les oiseaux granivores représente une contrainte pour cette culture très dispersée.

Les périmètres irrigués

Le développement à partir des années 70 des grands aménagements hydro-agricoles (vallées du fleuve Sénégal et du fleuve Niger...), la multiplication plus récente des petits périmètres irrigués villageois ont conduit la recherche agronomique à élaborer des systèmes de culture vulgarisables et à définir avec le paysan les conditions techniques permettant au sorgho de valoriser au mieux les ressources en eau disponibles.

La recherche dispose d'un certain nombre d'acquis.

Les variétés locales ne répondent que très peu aux compléments d'irrigation pour la production de grain ; la satisfaction des besoins maximaux en eau agit surtout sur la production de paille.

Le sorgho, représenté par du matériel sélectionné type hybride (américain ou obtention IRAT) ou type lignée pure précoce (IRAT 204) à paille courte (1-2 m) est bien adapté aux conditions de la culture irriguée. Avec ces variétés modernes, il est pratiquement possible, en zone sahélienne, de cultiver du sorgho toute l'année, mais seules deux saisons sont intéressantes : la saison des pluies et la saison sèche froide, cette dernière ayant les rendements potentiels les plus élevés (jusqu'à 6 500 kg/ha).

Pour tirer le meilleur parti de ces deux campagnes, il convient de respecter des dates de semis assez précises : fin juin-début juillet pour la campagne d'hivernage, début octobre pour la campagne de contre-saison froide. Un semis réalisé en dehors de ces dates optimales a souvent des conséquences défavorables sur les rendements.

Toutes conditions égales par ailleurs, et comparativement à l'hivernage, les sorghos sélectionnés réagissent en contre-saison froide par un meilleur rapport grain/paille (panicules plus productives portées par une paille moins exubérante). Il est en conséquence possible de recourir à des densités élevées de semis pour valoriser au mieux les irrigations de cette campagne de culture.

Il existe des cultivars adaptés aux deux saisons de culture (lignée IRAT 204, hybrides IRAT 179 et NK 300). D'autres conviennent mieux à l'une des deux campagnes (lignée IRAT 207 ou hybride IRAT 181 en contre-saison froide).

Des pertes notables de rendement sont susceptibles d'être causées en contre-saison froide par des oiseaux granivores.

Au terme de plusieurs années d'expérimentation dans les casiers aménagés des principales vallées pluviales du Sahel, la culture du sorgho irrigué est maintenant bien maîtrisée.

Dans la vallée du Sénégal, ce sont les sols "fondé" qui se prêtent le mieux à la culture irriguée du sorgho. Les autres sols du "ouallo", les "hollaldé" (encore plus riches en argile), conviennent également mais ont avant tout une vocation rizicole. Les sols dunaires du "dieri", du fait de leur texture sableuse, peuvent être exploités sous réserve d'une irrigation par aspersion généralement plus coûteuse.

Sur les terrasses du fleuve Niger (au Niger), il y a sur de très faibles distances une très grande hétérogénéité des sols : textures variables (5 à 65 % d'argile, 5 à 35 % de limons), structures souvent instables sous irrigation (jusqu'à la prise en masse). Dans ce contexte, les meilleurs rendements de sorgho sont obtenus sur les sols argileux bien structurés, par opposition aux sols sablo-limoneux ou argilo-limoneux déstructurés.

La parcelle à préparer est mise en eau avant la date optimale de semis. Après ressuyage de la parcelle, une fumure minérale de fond est appliquée. La plus couramment préconisée est la suivante : N 70 kg/ha ; P_2O_5 35 kg/ha ; K_2O 100 kg/ha.

Un labour permet l'enfouissement de cette fumure. L'opération est soit effectuée au tracteur comme dans la vallée du Sénégal, soit réalisée mécaniquement en

traction animale sur les terrasses du Niger. Etant donné les températures élevées et les risques importants de dessiccation du sol, le labour est exécuté en bandes étroites, suivi sans délai de l'affinage.

Le semis est fait sur billons en poquets, aux densités recommandées de 150 000 à 300 000 plants/ha, en poquets de trois plantes, soit manuellement, soit mécaniquement. Dans ce dernier cas, l'enfouissement des graines est assuré régulièrement (3 à 5 grains par poquet) et à une profondeur de 5 cm. Les semences sont déposées au flanc du billon (deux tiers supérieurs) pour se protéger des remontées salines et permettre une bonne humectation à la germination. La réussite du semis mécanique permet de supprimer le démariage, qui autrement doit intervenir une dizaine de jours après la levée.

Une irrigation à la raie suit le semis. Par la suite, les apports d'eau se font selon les besoins.

Les sarclages sont réalisés manuellement ou mécaniquement. L'outil alors utilisé doit être muni d'une dent fouilleuse disposée en avant du corps butteur, permettant de briser la croûte de battance qui se forme dans la raie d'irrigation et éventuellement d'enfouir un engrais de couverture (généralement l'urée).

Après la floraison, en saison sèche froide, une surveillance des parcelles de sorgho est nécessaire du lever au coucher du soleil, pour préserver la récolte des attaques d'oiseaux. En hivernage, la contrainte de gardiennage est beaucoup moins forte.

Des essais d'irrigation par aspersion (sous pivot) ont été réalisés en conditions paysannes au Sourou (Burkina Faso) ; les résultats techniques sont satisfaisants mais les problèmes de coût ne sont pas actuellement maîtrisés.

Bibliographie

- ARRAUDEAU M., 1977. Le sorgho à Madagascar. *L'Agron. Trop.*, 32 (3) : 292-303.
- ARRIVETS J., 1976. Exigences minérales du sorgho. Etude d'une variété voltaïque à grande tige. *L'Agron. Trop.*, 31 (1) : 29-46.
- BOZZA J., BOYER G., 1988. Mise en valeur hydro-agricole des terrasses du fleuve Niger. Bilan des deux premières années d'expérimentation-développement. Niamey, ONAHA.
- CHANTEREAU J., 1983. Sélection d'hybrides de sorgho pour le centre-nord du Sénégal. *L'Agron. Trop.*, 38 (4) : 295-302.
- CHANTEREAU J., LOUVEL D., 1983. La sélection de lignées de sorgho vigoureuses à la levée pour la zone centre-nord du Sénégal. *In* : Réunion des comités scientifiques du Projet régional d'amélioration des mil, sorgho, niébé et maïs, ISRA-IRAT, Banjul (Cameroun), 7-10 mars 1983, 5 p.
- CHANTEREAU J., NICOU R., 1991. Le sorgho. Paris, Maisonneuve et Larose, 159 p. (coll. Le Technicien d'agriculture tropicale, n° 18).
- CHAROY J., 1983. Note technique sur la culture du sorgho au Sarir (3^e année). Montpellier, IRAT, 9 p.
- ECKEBIL J.P., 1970. L'amélioration des céréales au Cameroun. *Sols Africains*, 15 (1-2-3) : 21-34.
- ETASSE C., 1977. Synthèse des travaux sur le sorgho. *L'Agron. Trop.*, 32 (3) : 311-318.
- GIGOU J., 1986. La fertilisation raisonnée du sorgho en Afrique de l'Ouest. *L'Agron. Trop.*, 41 (3-4), 192-202.
- IRAT, 1977. L'IRAT et l'amélioration du sorgho. Présentation des travaux. *L'Agron. tropicale*, 32 (3) : 279-280.
- LABEYRIE P., 1977. L'amélioration du sorgho grain en Haute-Volta. *L'Agron. Trop.*, 32 (3) : 287-292.
- LEGOUPIL J.C., SABATIER J.L., 1987. L'irrigation de complément. Une alternative à la sécheresse. *Agritrop*, 11 (1) : 830-860.
- MARTI A., 1990. Sorghos repiqués ou semés en conditions de décrue. Références bibliographiques. Montpellier, CIRAD-IRAT, 56 p.
- MAUBOUSSIN J.C., GUEYE I., N'DIAYE M., 1977. L'amélioration du sorgho au Sénégal. *L'Agron. Trop.*, 32 (3) : 303-310.
- MONTHE E., 1977. Point actuel des travaux de sélection sur les sorghos au Nord-Cameroun. *L'Agron. Trop.*, 32 (3) : 280-287.
- NICOU R., 1978. Etude des successions culturales au Sénégal : résultats et méthodes. *L'Agron. Trop.*, 33 (1) : 51-61.
- NICOU R., OUATTARA B., SOME L., 1987. Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières (sorgho, maïs, mil) au Burkina Faso. Ouagadougou, INERA, 77 p.
- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris, Ministère de la Coopération, Montpellier, CIRAD-IRAT, 448 p.

SAPIN P., REYNARD A., 1968. La culture de décrue du sorgho dans la vallée du fleuve Sénégal. Quelques techniques culturales simples pour son amélioration. L'Agron. Trop., 23 (8) : 864-871.

VAN STAVEREN J.P., STOOP W.A., 1986. Adaptation aux types de terroirs des toposéquences de l'Afrique de l'Ouest de différents génotypes de sorgho par rapport aux cultivars locaux de sorgho, de mil et de maïs. L'Agron. Trop., 41 (3-4) : 203-217.

La riziculture irriguée

**Jean-Yves Jamin
CIRAD-SAR**

Table des matières

Le contexte	55
Les besoins en eau	56
Les cycles culturaux	56
Les variétés	58
Le travail du sol	59
Les techniques d'implantation	61
La fertilité des sols	62
Pédologie	62
Fertilisation	62
Le désherbage	64
Les ennemis des cultures	65
Le machinisme	66
Systèmes de culture et systèmes de production	67
Bibliographie	68

Le contexte

■ La riziculture irriguée : un phénomène récent

Si la riziculture est très ancienne en Afrique sahélienne, en particulier dans la vallée du Niger où elle dérive de la cueillette d'*Oryza glaberrima* (riz cultivé africain), *O. barthii* (riz sauvage annuel) et *O. longistaminata* (riz sauvage à rhizomes), la culture irriguée à grande échelle est un phénomène relativement récent ; les premiers essais remontent au XIX^e siècle au Sénégal (Richard-Toll), mais ce n'est qu'au début du XX^e siècle que de grands projets d'aménagements sont mis à l'étude. La première réalisation sera l'Office du Niger, où la culture commence en 1935, sur le modèle de la Gézirah au Soudan.

Seront ensuite lancées l'OAV (Organisation autonome de la vallée) puis l'OAD (Organisation autour de la vallée) le long du fleuve Sénégal, dont le réel développement ne se fera qu'après l'indépendance avec la création de la SAED (Société d'aménagement et d'exploitation du delta), qui verra ses prérogatives s'étendre progressivement à l'ensemble de la vallée, avec d'abord de grands casiers puis des petits périmètres irrigués villageois (PPIV). Parallèlement, se mettra en place la SONADER (Société nationale de développement rural) en Mauritanie (rive droite du fleuve), ainsi que les petits périmètres de la haute vallée du fleuve Sénégal au Mali. D'autres expériences se sont développées au Niger (ONAH, Office national des aménagements hydro-agricoles), au Burkina Faso (vallée du Kou), au Tchad (casiers de Bongor et polders du lac) et au Nord-Cameroun (SEMR, Société d'expansion et de modernisation de la riziculture de Yagoua), où de grandes superficies ont été aménagées.

Tous les périmètres sahéliens ont comme caractéristique commune la prédominance absolue de la culture du riz, pour des raisons pédologiques (sols de cuvette, facilement irrigables mais difficilement drainables, parfois salins) et politiques (recherche de l'autosuffisance alimentaire), même si à l'origine de grands espoirs avaient été placés dans le coton. Les efforts de diversification des cultures n'ont pas été abandonnés, mais il faut bien constater que, en dehors du maraîchage (pratiqué sur de petites surfaces et de façon souvent "pirate" par les paysans) et du maïs (cultivé en contre-saison dans la partie amont du fleuve Sénégal) ou parfois du blé (vallée du Kou, zone Tombouctou-Diré, polders du lac Tchad), le riz reste encore aujourd'hui la seule culture pratiquée à grande échelle de façon régulière.

■ Un effort important de recherche

Au démarrage des opérations d'irrigation, bien que les bases techniques des rizicultures traditionnelles de Casamance, de Guinée et de la vallée du Niger aient été utilisées, on a surtout importé des techniques de pays ayant une plus longue tradition de riziculture irriguée (Asie, Madagascar, mais aussi Guyane) et des variétés asiatiques de l'espèce *Oryza sativa*. Des stations de recherche ont été ensuite implantées dans toutes les zones concernées.

Les instituts de recherche nationaux ont fourni un effort notable d'expérimentation sur le riz irrigué ; citons en particulier les travaux de l'ISRA au Sénégal, du CNRADA en Mauritanie, de l'IER au Mali, de l'INERA au Burkina Faso, de l'INRAN au Niger et de l'IRA au Cameroun. Ils ont été appuyés par des instituts internationaux, en particulier l'IRAT (souvent à l'origine des premières recherches), et également l'ADRAO, l'OMVS et la FAO, ainsi que par l'université de Wageningen (Pays-Bas) pour les recherches sur l'irrigation. Les coopérations chinoises (Formose puis Chine populaire) ont aussi joué un rôle important.

Un trait commun à tous les périmètres considérés est la puissance des sociétés de développement, et l'importance qu'elles ont accordée à la création de structures de "recherche appliquée", "recherche d'accompagnement" ou "recherche-dévelop-

pement" en leur sein. Aussi beaucoup de résultats ont-ils été obtenus dans le cadre de ces opérations de développement, dont les moyens financiers sont (ou étaient) sans commune mesure avec ceux des instituts de recherche nationaux.

Les travaux qui ont été menés sur la riziculture irriguée au Sahel concernent les besoins en eau des plantes et leur traduction en termes d'aménagement hydraulique, de cycles de culture, de variétés, de sols et d'amélioration de leur fertilité, de préparation des terres, de techniques d'implantation, de désherbage, de protection des cultures et de mécanisation ; plus récemment ont été lancés des travaux sur les systèmes de culture et les systèmes de production.

Nous utiliserons ici surtout les résultats des recherches effectuées dans la vallée du fleuve Sénégal et à l'Office du Niger depuis plusieurs décennies, ainsi que ceux obtenus au Nord-Cameroun, dans la vallée du Kou et à l'ONAH.

Les besoins en eau

Ces besoins ont été pendant longtemps satisfaits de façon empirique ; ce n'est qu'à partir de 1970 que des travaux spécifiques aux milieux considérés ont été menés sur ce thème.

Au Sénégal, RIJKS (1976) a déterminé les besoins en eau du riz pour les différentes saisons de culture sur la base des évapotranspirations réelles d'une culture de riz, ainsi que les coefficients culturaux K' permettant de relier l'ETR à l'évaporation d'un bac "classe A", fréquemment utilisé dans les stations météorologiques ($K' = \text{ETR}/\text{EVA}$; $K_c = \text{ETR}/\text{ET}_0$).

Pour l'hivernage, les besoins sont d'environ 1 100 mm ; ils sont de l'ordre de 1 700 mm en saison sèche froide et en saison sèche chaude (très variable selon les années). Les 15 premiers jours, $K' = 0,8$, puis $K' = 1$ les 15 jours suivants, puis 1,2 à 1,4 jusqu'à 15 jours avant la récolte, où il redescend à 1.

Au Mali, les projets BEAU (Besoins en eau), 1981, et GEAU (Gestion de l'eau), 1984, ont menés des travaux similaires, mais en ramenant les ETR à l'ET₀, évapotranspiration de la culture de référence (gazon vert de 8 à 15 cm, en pleine croissance, d'après FAO, 1977). Les résultats obtenus sont proches des précédents : les besoins d'irrigation sont de 1 200 mm en hivernage, en tenant compte de deux préirrigations et de la pluviométrie décadaire de probabilité 80 %. Le coefficient K_c est alors de 1,1 les deux premiers mois, puis de 1,25 ensuite (en semis direct) ($K' = \text{ETR}/\text{EVA}$; $K_c = \text{ETR}/\text{ET}_0$).

Sur ces bases, ont été calculés les débits fictifs continus nécessaires. A l'Office du Niger, ils sont de 1,1 l/s par hectare ; les débits de pointe sont estimés à 1,5 l/s. C'est ainsi qu'au projet Retail l'aménagement a été fait sur la base d'un débit de 1,8 l/s par hectare à la parcelle, soit 2 l/s en tête de canal tertiaire ; l'irrigation est organisée avec des tours d'eau de 5 à 7 jours, et des mains d'eau de 20 l/s pour 2 ha.

Il faut noter que les travaux en matière de besoin en eau et d'hydraulique ont pu s'appuyer sur d'importantes bases de données agro-météorologiques (météorologies nationales, ASECNA, stations de recherche) et sur des monographies hydrauliques détaillées réalisées par l'ORSTOM.

Les cycles culturaux

Dans tout le Sahel, se pose un problème de calage des cycles du riz par rapport à la saison froide. En effet, les basses températures peuvent bloquer certaines phases du cycle du riz ou compromettre leur bon déroulement. En dessous de

15 °C, la floraison et le début du remplissage sont fortement perturbés et le taux de grains vides est donc élevé ; la germination et la levée sont pratiquement bloquées ; la végétation d'une culture déjà installée mais pas encore parvenue à l'initiation paniculaire n'est par contre pas trop affectée, bien qu'elle soit sérieusement ralentie ; en dessous de 10 °C, la végétation est bloquée.

Les maximums de température élevés enregistrés en avril-mai (plus de 43 °C, avec une humidité très faible, surtout lorsque souffle l'harmattan) peuvent aussi perturber la floraison du riz et provoquer des stérilités. L'incidence sur les rendements et sur le calage des cycles est cependant plus limitée que les effets du froid.

Sur la base de ces contraintes, des études fréquentielles de températures ont été effectuées ; citons les travaux de RIJKS (1976), dans la vallée du fleuve Sénégal, et ceux du projet GEAU, 1984, à l'Office du Niger. Selon la latitude, les contraintes sont plus ou moins fortes : dans la partie nord du Sahel (Podor, Gao), la fréquence des températures froides est beaucoup plus forte qu'à la lisière de la zone soudanienne (vallée du Kou), où le semis est possible en décembre-janvier. Le calage des cycles doit aussi tenir compte des disponibilités en eau d'irrigation, souvent réduites en fin de saison sèche dans les fleuves sahéliens comme le Sénégal, le Niger ou le Logone, malgré le développement des barrages de régulation (Manantali sur le Sénégal, Sélingué sur un affluent du Niger) et des réservoirs de stockage (SEMRY 2 à Maga).

Trois grandes saisons de culture sont possibles pour le riz : hivernage, saison sèche froide (ou désaison), saison sèche chaude (ou contre-saison).

Pour l'hivernage, le cycle doit être calé par rapport à la floraison du riz et aux basses températures débutant fin novembre ; avec des variétés non photosensibles à cycle moyen (130 jours), les semis doivent se faire au plus tard début août. Avec des variétés à cycle plus court (110 jours), ils peuvent encore avoir lieu fin août. Les potentiels sont cependant plus faibles lorsque l'on s'approche de ces dates limites, les dates optimales de semis se situant entre début juin et fin juillet. Les semis ne doivent pas commencer trop tôt (avant fin mai), pour ne pas risquer que les pluies de septembre viennent endommager les récoltes. Avec les variétés photosensibles, le problème est différent : leur date d'épiaison est assez stable et des semis précoces permettent d'accroître la durée de la phase végétative, et donc le potentiel de matière sèche qui pourra être accumulé puis transféré vers les grains ; à l'inverse les semis tardifs réduisent ce potentiel.

Pour la saison sèche chaude, on cherche en général à faire des semis les plus précoces possibles, pour éviter que les pluies d'hivernage ne viennent endommager les récoltes ou gêner le battage, et également pour permettre une remise en culture rapide pour la campagne d'hivernage dans le cas de la double culture. Cependant, la précocité de ces semis est limitée par les basses températures de janvier. Ce n'est donc que début ou mi-février que les semis sont en général possibles dans de bonnes conditions.

Pour résoudre ce problème, il est possible d'avancer les semis en novembre, début décembre au plus tard, avant la période des froids, et de faire une culture dite de saison sèche froide. La germination et la levée se font alors avant que les températures ne soient trop basses ; la végétation du riz est ensuite très ralentie en décembre-janvier, et elle ne redémarre vraiment pleinement qu'à partir de mi-février. Le cycle du riz est alors nettement allongé. Cette contrainte est beaucoup moins forte au sud, comme dans la vallée du Kou, où les semis de fin décembre et janvier sont fréquents, avec un repiquage en janvier ou février.

Pour les semis de saison sèche, il est impératif d'utiliser des variétés non photosensibles : en effet, une variété photosensible semée en février risque de n'arriver à maturité qu'en novembre (cycle de 280 jours). En saison sèche chaude, il est recommandé d'utiliser des variétés à cycle court car, le début de végétation

étant assez lent fin février-début mars, les cycles sont allongés de 15 jours environ par rapport à l'hivernage, et les récoltes des variétés à cycle moyen sont trop tardives. Pour les semis de saison froide, on peut utiliser des variétés à cycle moyen, car les parcelles sont de toute façon libérées à temps pour l'hivernage suivant, mais il faut s'assurer de leur tolérance au froid ; il faut noter que, en cas de double culture saison froide-hivernage, le temps disponible entre récolte d'hivernage et semis de saison froide est très court.

Dans la pratique, la plupart des surfaces irriguées ne portent qu'une culture par an, en hivernage. La double riziculture est cependant réalisée dans certains périmètres : succession saison sèche chaude-hivernage sur une partie des terres de la vallée du fleuve Sénégal, ainsi qu'au projet Retail en zone Office du Niger ; succession saison sèche froide-hivernage dans les petits périmètres de la région de Gao, à l'ONAHA au Niger, dans la vallée du Kou et à la SEMRY. Dans toutes ces situations, la lutte contre les oiseaux mobilise beaucoup de main-d'œuvre en contre-saison. La double culture est surtout réalisée dans les périmètres où les surfaces attribuées par famille sont faibles (0,2 à 0,5 ha), et elle est plus rare ou ne porte que sur une partie des surfaces dès que ces attributions sont de l'ordre de un ou plusieurs hectares par famille. L'utilisation de variétés à cycle court et de façons culturales simplifiées, voire du non-travail du sol, sont susceptibles de favoriser l'extension de la double culture, de même que la mécanisation. La pratique de la repousse, étudiée en station de recherche par l'IRAT puis l'ADRAO au Sénégal, a fait jusqu'à présent l'objet de peu d'applications en milieu paysan.

Des successions riz-autre culture sont également possibles, et elles sont pratiquées en particulier dans la vallée du Sénégal : riz d'hivernage-maïs de saison froide autour de Matam et Bakel (maïs sur une partie seulement des surfaces en vraie double culture), ou riz-tomate entre Richard-Toll et Podor, mais avec un décalage des cycles conduisant plutôt à faire trois cultures sur 2 ans : riz de saison sèche chaude, tomate de saison froide, riz d'hivernage. Ces successions posent d'autres problèmes que celui des cycles, en particulier par rapport au planage des parcelles (succession de cultures à plat et de cultures sur billon).

La triple culture (riz de saison sèche chaude, riz d'hivernage, blé de saison froide) a été tentée au Sénégal par la FAO, mais sa réalisation effective n'a pu être pérennisée, même en station de recherche.

Les variétés

Les cultivars utilisés dépendent d'abord du degré de maîtrise de l'eau qui est atteint. Lorsque les dénivelés intraparcellaires sont importants, on utilise des variétés à paille longue (1,5 m ou plus), qui tolèrent de fortes lames d'eau ; la levée se fait en général sous pluie, et l'inondation n'intervient que lorsque le riz a atteint une taille suffisante. Lorsque le planage est bon, on peut utiliser des variétés à paille courte (0,7 à 1,1 m), qui ont un fort potentiel de rendement, et l'implantation peut se faire par semis en prégermé ou par repiquage. Toutes les variétés utilisées sont des *Oryza sativa* d'origine asiatique, avec une préférence pour les types *indica* qui ont des grains de meilleure qualité que les *japonica* (CHABROLIN, 1965).

Les variétés à paille longue sont en général photosensibles. Elles ont une croissance rapide, et sont donc compétitives par rapport aux adventices ; par contre, leur réponse aux engrais est limitée, elles sont sensibles à la verse, et leur potentiel de rendement est assez faible (4-5 t/ha environ), en liaison avec leur faible rapport grain/paille. Ces variétés rustiques ont été très employées au début des aménagements au Sénégal et au Mali, et continuent de l'être dans les zones non

réhabilitées de l'Office du Niger. Citons quelques variétés, avec leur origine, et leur cycle, donné à titre indicatif pour un semis de fin juin-début juillet (premières pluies régulières) : Ségadis (Indonésie, 135 j), H 15-23 DA (Sénégal, 145 j), D 52-37 (Guyane, 150 j), Gambiaka Kokum (Mali, 155 j), BH 2 ou IRAT 14 (Mali, 165 j), DK 3 (Mali, 165 j).

Les variétés à paille courte se sont développées depuis 1970. Elles ont une croissance moins rapide, et sont donc plus sensibles aux adventices, mais elles répondent très bien aux engrais, ont de forts potentiels de rendement (7 à 10 t/ha, voire plus) et sont peu ou pas photosensibles (POISSON, 1970). Elles sont systématiquement employées dès que les conditions de planage le permettent. De nombreuses variétés sont utilisées, originaires d'Asie le plus souvent (par l'intermédiaire de l'IRRI ou de l'ADRAO), ou parfois obtenues sur place (ADRAO, IRAT ou instituts nationaux). Citons parmi les plus répandues, avec leur cycle en hivernage, IR 8 (IRRI, 135 j), Jaya (Inde, 130 j), BG 90-2 (Sri Lanka, 130 j), IR 46 (IRRI, 125 j), Sri-Malaysia (Malaisie, 125 j), IR 1529-680-3 (IRRI, 125 j), 44-56 (Inde, 125 j), ITA 123 (Nigeria, 125 j) ; et pour les cycles plus courts (ayant un potentiel un peu plus faible), Kwang She Sheng (KSS, Chine, 105 j), I Kong Pao (IKP, Taiwan, 110 j), Taïchung Native n° 1 (TN 1, Taiwan, 115 j), Tatsumi Moschi (Japon, 100 j). De nombreuses autres variétés sont en cours de test.

Pour la contre-saison chaude, on recherche des variétés à cycle court, ayant un bon démarrage malgré les basses températures, et pouvant aussi être cultivées en hivernage pour les semis tardifs de double culture ; les plus utilisées sont IKP (au Sénégal et au Mali), China 988 (à l'Office du Niger) ; TN 1, IR 1561-228-3-A et Aiwu semblent aussi très intéressantes. Pour la saison froide, on utilise IR 46, Jaya, BG 90-2, IR 1529-680-3, 44-56, ITA 123. Les cycles sont très variables selon la date de semis et le climat de l'année (effet du froid) ; ils sont toujours supérieurs à ceux de l'hivernage, de 10 à 20 jours en saison sèche chaude, d'un mois ou plus en saison froide (sauf au sud, où les cycles varient moins).

La sélection variétale doit prendre en compte le potentiel de rendement et le cycle, mais aussi la tolérance à certaines maladies (pyriculariose et mosaïque jaune pour les périmètres les plus au sud), et surtout le goût des agriculteurs et les contraintes éventuelles du marché national. Même si la plupart du temps le riz décortiqué commercialisé contient un fort taux de brisures (autour de 50 %), les variétés les plus recherchées sont celles ayant des grains longs et très blancs, mais cela peut varier selon les régions.

Dans tous les pays existent une ou plusieurs variétés bien adaptées, ayant un potentiel de rendement correct. Dans les introductions (il y a peu de travaux de création variétale dans la zone, ce que justifie l'abondance et la diversité des collections internationales de variétés), on recherche une diversification du matériel végétal (sécurité), des variétés à cycle court (plus grande souplesse), ou des variétés pouvant être utilisées en saison sèche, froide ou chaude ; et dans tous les cas un potentiel de rendement élevé.

Le travail du sol

Le labour a été partout systématiquement employé au démarrage de ce type de riziculture ; il est peu à peu apparu que des façons culturales plus superficielles pouvaient être utilisées pour gagner du temps.

Les conditions sahéliennes font en effet que le labour n'est pas indispensable : si on peut semer tôt, les résidus de récolte et les adventices à enfouir sont très faibles en fin de saison sèche, et ceci est accentué par l'utilisation des périmètres

irrigués comme zone de pâture. La plupart des essais, menés en particulier au Sénégal (COURTESSOLE, 1985), ont montré que d'aussi bons rendements qu'avec un labour peuvent être obtenus avec un travail superficiel au pulvérisateur ou au rotavator, et que de plus ces façons superficielles présentent l'avantage de ne pas détériorer le planage. Cependant, lorsque la traction animale est utilisée (Office du Niger, ONAHA, vallée du Kou), aucun outil ne permet de se passer du labour (dont la profondeur est en général assez faible : 10-12 cm).

A l'Office du Niger, en traction bovine, on a remarqué que la répétition du labour, à la Fellemberg ou en planches avec les ados aux mêmes endroits chaque année, contribue fortement à dégrader le planage. Il faut alors utiliser d'autres techniques de labour (alterner ados et dérayure au même endroit selon les années) ou la charrue réversible ; seule une charrue réversible "japonaise" (à lame) est utilisable avec les bœufs (testée à l'Office du Niger et à la vallée du Kou). Le labour est ensuite repris avec un passage de herse, voire deux pour le semis direct (pour lequel on cherche un lit de semences assez fin), mais pour gagner du temps, en repiquage, certains paysans font l'impasse sur la reprise. Des essais ont montré que le double labour pouvait favoriser un plus fort rendement, à cause d'un meilleur contrôle des adventices, mais son utilisation est réduite du fait des contraintes de calendrier et d'équipement qu'il impose.

Lorsqu'une bonne maîtrise de l'eau est atteinte, des travaux sous eau peuvent être effectués : de très bons résultats sont obtenus avec une fraise (rotavator) sur tracteur ou motoculteur, surtout si l'on peut ensuite maintenir une lame d'eau jusqu'au repiquage ou au semis en prégermé : la persistance de conditions asphyxiées freine considérablement la levée des adventices ; de plus, la mise en boue facilite les travaux de planage. Le piétinage mécanique (tracteur à roues cages) a aussi été testé à la SEMRY. En culture attelée, il est possible d'utiliser, après le labour, le puddler à cônes (testé à l'Office du Niger et à la vallée du Kou), qui permet de faire une mise en boue correcte (mais son utilisation est problématique en sols lourds) ; en cours de diffusion, la barre niveleuse, utilisée à l'Office du Niger et à l'ONAHA directement après le hersage, permet l'amélioration du planage, mais sans autoriser des mouvements de terre importants.

Dans certains petits périmètres, où les surfaces cultivées par famille sont faibles, le travail du sol est entièrement manuel ; un pseudo-labour peu profond est alors réalisé à la daba (houe). Cette technique trouve ses limites dès qu'un accroissement des surfaces est possible.

Le labour est absolument nécessaire dans deux types de situations : lorsque l'on veut enfouir de la végétation ou des résidus de récolte (restitution des pailles), et pour lutter contre certaines adventices comme le riz à rhizome. L'enfouissement n'est cependant pas une opération courante : il est souvent difficile à réaliser si la végétation n'est pas au préalable broyée ou compostée, particulièrement en traction animale. Pour la lutte contre le riz à rhizome, le labour permet d'obtenir de bons résultats, s'il est réalisé en début de saison sèche, mais ils ne sont pas définitifs et doivent être suivis d'une extirpation manuelle.

La simplification extrême des façons culturales aboutit au non-travail du sol. Cette technique a été longuement testée au Sénégal (COURTESSOLE, 1985), et a connu un développement rapide lors de son introduction en milieu paysan. Elle permet un gain de temps et d'argent appréciable, sans avoir de conséquences importantes sur le rendement ; son utilisation doit être précoce (avant que les pluies ne permettent un développement des adventices) ; elle est bien adaptée au semis en prégermé. Eventuellement, en cas d'infestation récente, la végétation adventice peut être détruite au paraquat avant un semis en prégermé sans travail du sol. Le repiquage sans travail du sol a aussi été testé, et donne de bons résultats, mais il se heurte à la dureté des sols.

Les techniques d'implantation

Trois grands modes d'implantation existent dans les périmètres irrigués de la zone : le semis direct en sec, le semis direct en prégermé, le repiquage. L'implantation se fait le plus souvent à la volée (semis) ou en foule (repiquage).

Le semis en sec est le mode de semis le moins performant en termes de rendement, parce que la germination et la levée sont mauvaises si l'eau n'est pas bien répartie, mais aussi du fait de la concurrence rapide des adventices. C'est cependant le seul mode facilement utilisable lorsque le planage ne permet pas un bon contrôle de l'eau d'irrigation et que la levée doit se faire sous pluie. Les quantités de semences nécessaires sont importantes : 120 à 180 kg/ha.

Le repiquage et le semis en prégermé peuvent tous les deux donner de très bons résultats. De nombreux essais réalisés au Sénégal et au Mali montrent que les potentiels de ces deux techniques sont très proches si l'on a une bonne maîtrise de l'eau et des adventices, le repiquage facilitant beaucoup cette dernière. Le choix dépend principalement des conditions économiques locales, en particulier du coût de la main-d'œuvre et de celui des herbicides (le repiquage demande environ 40 à 50 journées de travail de plus).

Le semis en prégermé a l'avantage de demander peu de main d'œuvre ; cependant, la nécessité de faire un léger assec pour faciliter la levée implique un bon fonctionnement du système de drainage et favorise l'envahissement des parcelles par les adventices ; les temps de désherbage peuvent alors être importants, ou le recours aux herbicides nécessaire, si l'on veut viser un rendement élevé. Le planage doit être de bonne qualité pour que la levée soit homogène. Le semis peut être manuel, ou réalisé avec un petit semoir centrifuge portatif ; 120 kg de semences sont nécessaires par hectare.

Le repiquage assure un peuplement régulier et permet, à condition qu'une lame d'eau soit maintenue (ce qui souvent ne peut être fait dans les PPIV situés sur des hautes levées), une très bonne maîtrise des adventices. Les quantités de semences demandées sont faibles, 40 à 50 kg/ha, et l'obtention d'un bon rendement est presque garantie, si toutefois les plants ne sont pas repiqués trop âgés : les plants ne doivent pas avoir plus de 3-4 feuilles, soit 20-25 jours en hivernage, 25-30 jours ou plus en contre-saison suivant les températures. Au-delà la reprise est difficile, et le potentiel de tallage réduit. Les densités optimales varient selon les zones et les conditions ; en hivernage, des peuplements de 25 x 25 cm peuvent donner de bons résultats, mais un repiquage à 20 x 20 cm assure une plus grande sécurité ; en contre-saison, le repiquage à 20 x 20 cm semble nécessaire.

Dans la vallée du fleuve Sénégal, le semis en sec a été abandonné dès que les conditions de maîtrise de l'eau l'ont permis. Dans tous les grands périmètres, où les surfaces par famille sont d'un hectare ou plus, le semis en prégermé est pratiqué, avec association ou non de désherbage chimique ; dans les PPIV, où les surfaces ne dépassent guère 0,5 ha par famille, le repiquage est utilisé. A l'Office du Niger, le semis direct en sec est le mode le plus répandu dans les zones où la maîtrise de l'eau est faible ; avec les réaménagements et les projets d'intensification, et malgré l'importance des attributions (plusieurs hectares par famille), le repiquage progresse rapidement (avec appel au salariat), y compris dans les zones non encore réaménagées dès que les paysans peuvent réaliser un compartimentage. Le semis en prégermé est expérimenté avec de très bons résultats, et pourrait être une alternative au repiquage pour certaines familles. Dans les PPIV de la vallée du fleuve Niger (Mali et ONAHA), à la vallée du Kou et à la SEMRY, le repiquage est systématique, en rapport avec les faibles surfaces exploitées par chaque famille.

Les implantations en ligne sont assez rares ; elles nécessitent un matériel

spécial relativement onéreux (semoirs en sec, semoirs en prégermé, repiqueuses mécaniques) ou une forte technicité de la main-d'œuvre pour le repiquage manuel en ligne (pratiqué cependant à l'ONAH et à la vallée du Kou). Leur principal intérêt est d'autoriser ensuite un sarclage mécanique (voir ci-après). Des matériels expérimentaux existent, en particulier en provenance de l'IRRI : semoir prégermé en ligne (simple et robuste), repiqueuse (plus fragile) utilisant des plants issus de pépinière Dapog ou de pépinière humide modifiée ; ces plants étant repiqués très jeunes, ils sont très sensibles à la submersion, et un très bon planage est donc nécessaire. L'utilisation de la pépinière Dapog ("hors sol") facilite beaucoup le transport des plants, mais son utilisation implique un respect très strict du calendrier de repiquage, car les plants ne peuvent vieillir en pépinière.

La fertilité des sols

Pédologie

Les sols ont été essentiellement choisis selon des critères topographiques : grandes cuvettes facilement dominables du delta et de la basse vallée du fleuve Sénégal ou du delta central nigérien, ou au contraire hautes levées situées à proximité immédiate de la ressource en eau et ne nécessitant pas de protection importante contre les crues (PPIV de la moyenne et de la haute vallée du fleuve Sénégal, et de la vallée du fleuve Niger).

Des travaux d'inventaire des sols ont ensuite généralement été menés, souvent à une échelle (1/50 000) permettant un bon choix des sites à aménager mais moins d'avoir une perception claire des contraintes à la parcelle ; quelques zones ont cependant été cartographiées au 1/10 000, avec parfois une carte des contraintes : texture, profondeur de la nappe, salinité.

Des problèmes importants de salinité ont été reconnus dans le delta du fleuve Sénégal (origine géologique des sels) ; lorsque la couche d'argile n'excède pas un mètre, un dessalement est possible si une irrigation continue (double culture) est assurée avec de l'eau douce. Au Mali, TOUJAN (1980) puis BERTRAND (1985) ont mis en évidence un phénomène de dégradation des sols par alcalinisation et sodisation, lié au déséquilibre chimique de l'eau du fleuve Niger vers le pôle sodique et à sa concentration progressive dans les sols. Sur les zones les plus hautes et les plus sableuses, ce phénomène se traduit par l'apparition de salants (noirs ou blancs) et l'impossibilité de cultiver du riz sans maintien permanent d'une lame d'eau ; dans les sols argileux à nodules calcaires des cuvettes, on note un syndrome de rabougrissement-dépérissement du riz, lié probablement au blocage du zinc.

Dans la plupart des situations de cuvette, le drainage pose un problème important, et souvent mal résolu, qui ne laisse pratiquement pas d'autre choix que la riziculture pour la mise en valeur. A l'inverse, sur les hautes levées, c'est plutôt la forte perméabilité des sols qui est une contrainte, et ce d'autant plus que l'irrigation se fait par pompage, donc avec un souci d'économie d'eau (l'absence de maintien d'une lame d'eau facilite alors l'envahissement par les adventices).

Fertilisation

■ Azote

Les besoins en azote sont les premiers à satisfaire si l'on veut obtenir de bons rendements, car tous les sols considérés sont pauvres en matière organique, et totalement incapables de répondre à des besoins en azote d'autant plus élevés que

progresses l'intensification. Au Sénégal, dans des conditions assez intensives, des doses de 120 à 150 N/ha sont préconisées (ISRA, ADRAO). A l'Office du Niger, des doses relativement faibles suffisent en zone non réaménagée où la maîtrise de l'eau est faible et les variétés du type "paille longue" : 25 à 40 unités ; en conditions intensifiées, on recommande 70 à 100 unités, et jusqu'à 150 dans les meilleures parcelles (IER, projets GEAU et Retail). A la SEMRY, une dose de 90 à 120 unités est vulgarisée (IRA, SEMRY). A la vallée du Kou, 150 unités sont recommandées (CERCI, INERA) et 120 unités à l'ONAH (INRAN, ONAH). Dans toutes les situations, les réponses à l'azote sont toujours très bonnes dès que les conditions (variété, enherbement, planage) le permettent, et elles sont souvent linéaires jusqu'à 100, voire 150 ou 200 unités. Le conseil des doses à appliquer doit donc être relativement fin, et être fonction du niveau de rendement que l'on peut viser compte tenu des autres contraintes.

La forme d'azote la plus utilisée est l'urée (46-0-0), bien adaptée aux conditions aquatiques des rizières irriguées (même si un assec est préférable à l'épandage) ; l'apport se fait en couverture, en général en plusieurs fractions (tallage et initiation paniculaire le plus souvent). On note cependant l'utilisation du sulfate d'ammoniaque à la SEMRY (21-0-0), enfoui à la préparation du sol, parallèlement à celle de l'urée.

■ Matière organique

La matière organique est peu utilisée en riziculture, pour plusieurs raisons : quantités disponibles assez limitées (en liaison avec l'écologie de ces zones et le caractère extensif de l'élevage), utilisation préférentielle en maraîchage, problème de transport, faible efficacité sur les sols hormis l'apport d'azote (dans les conditions sahéniennes, la matière organique est vite détruite, et il faut des quantités importantes pour obtenir un effet sur la structure du sol, qui est rarement un problème dans ce type de riziculture). Le compostage de la paille de riz est en cours de test à l'Office du Niger et à la vallée du Kou. L'utilisation d'*Azolla*, fougère aquatique fixant l'azote grâce à une algue bleue symbiotique (*Anabaena*), est en cours d'expérimentation (ADRAO, ISRA, IER) ; elle pose des contraintes d'adaptation des souches aux conditions locales (sols et eaux), de tolérance aux vents en grands bassins et d'enfouissement. *Sesbania*, qui fixe beaucoup d'azote grâce à des nodosités, a été testée au Sénégal (ADRAO) ; son enfouissement est problématique, car ses tiges ligneuses doivent être broyées au rotavator avant le labour.

■ Phosphore

Pour le phosphore, la situation est plus variée : dans la vallée du Sénégal, les réponses au phosphore sont assez rares, et la fertilisation phosphorée n'est pas systématique ; une fumure plutôt destinée à compenser les exportations est recommandée (50-60 unités), mais elle est peu appliquée. Au Mali, on note en revanche une réponse assez bonne aux formes solubles (phosphate d'ammoniaque), sans pour autant que l'absence de fertilisation soit grave à court terme ; 45 unités sont recommandées en conditions intensives. A la vallée du Kou, 75 unités sont recommandées (engrais complet 14-26-14). A l'ONAH, 30 unités sont apportées (engrais complet 15-15-15). A la SEMRY, les réponses sont très variables selon les sols et les sites, les carences les plus prononcées se trouvant dans les sols argileux à nodules calcaires. Le phosphore est certainement l'élément pour lequel la fertilisation doit être la plus étudiée en fonction des conditions locales. La remplacement des formes solubles (phosphate d'ammoniaque, 18-46-0) par des phosphates naturels (de Matam au Sénégal, du Tilemsi au Mali) présente un intérêt économique certain, mais il se heurte à des problèmes de présentation du produit (pulvérulent), et à sa solubilité parfois limitée dans les conditions de sols des rizières (pH, réduction) ;

à l'Office du Niger, les réponses enregistrées au phosphate naturel du Tilemsi (PNT) sont faibles, même après plusieurs campagnes ; les essais de granulation et d'attaque partielle effectués par l'IRAT ou la Sofrechim pourraient rendre l'emploi de ces phosphates très intéressants, si le prix du traitement reste raisonnable.

■ Autres éléments

Pour le potassium, on note partout une situation assez satisfaisante : les sols alluviaux sont en général correctement pourvus, et, bien que les exportations du riz soient très fortes, aucune réponse au potassium n'a jamais été notée et cet élément a été très tôt écarté des recherches (POISSON, 1970). Un apport de 60 unités est recommandé au Sénégal, mais aucun paysan ne l'effectue. A la vallée du Kou, les 300 kg d'engrais complet (14-26-14) vulgarisés apportent 45 unités de K_2O ; à l'ONAH, 30 unités sont appliquées.

D'autres éléments doivent parfois être apportés par la fertilisation. Citons par exemple le cas du zinc : une carence a été notée au projet Retail de l'Office du Niger lorsque l'on passe en conditions intensives ; les teneurs du sol en zinc sont très faibles, et les conditions de pH alcalin peuvent dans certains terrains bloquer sa disponibilité. L'apport de sulfate de zinc fournit une très bonne réponse à court terme (doublement de la biomasse en pépinière, par exemple), mais son effet ne va pas au-delà d'une campagne.

Le désherbage

Les adventices les plus courantes sont les graminées (*Echinochloa colona*, *Ischaemum rugosum*, et les riz sauvages : *Oryza barthii* et *O. longistaminata*) et les cypéracées (*Cyperus esculentus*, *C. rotundus*, *Scirpus maritimus*), ainsi que le *Typha* qui envahit canaux et drains (POISSON, 1970 ; IRAT, 1978).

Le mode de désherbage le plus répandu est l'arrachage manuel des adventices. Cependant, des essais de désherbages mécanique et chimique ont été effectués, avec des applications pratiques chez les paysans dans certains pays. Partout le maintien d'une lame d'eau est un élément capital du contrôle des adventices, et de ce point de vue le repiquage est très intéressant (il donne de plus une avance de végétation importante au riz). La propreté des semences joue aussi un rôle capital dans la maîtrise des adventices.

Les méthodes mécaniques correspondent soit à des façons culturales utilisées pour la préparation des sols (double labour recommandé en culture attelée au Mali, labour profond en début de saison sèche contre le riz à rhizome, travail sous eau), soit à des passages de sarcluses rotatives manuelles dans la culture ; ce dernier type d'intervention nécessite bien entendu une implantation en ligne, rarement réalisée sauf à l'ONAH et à la vallée du Kou. Des sarcluses provenant de Madagascar et de l'IRRI (sarcluses à cône) sont testées à l'Office du Niger ; après abandon (fragilité), elles sont réintroduites à l'ONAH.

Les méthodes chimiques sont actuellement assez variées. Au Sénégal, de nombreux herbicides sélectifs sont disponibles (POISSON, 1970 ; IRAT, 1978 ; JAMIN, 1985) ; la plupart sont à base de propanil, éventuellement associé à du benthocarb, du bentazon, du 2-4-5 TP, de l'oxadiazon, du molinate, ou du 2-4 D ; ils sont largement utilisés par les paysans dans les grands périmètres, mais leur efficacité est fonction du choix de matières actives adaptées à la flore adventice, des doses appliquées, et surtout du respect de la période de traitement (stade 2-3 feuilles des adventices en général). Une formulation à base d'oxadiazon spécia-

lement étudiée pour le repiquage existe, et donne de bons résultats ; elle est facile à utiliser, car elle ne nécessite pas de pulvérisateur (bouteilles à vider dans l'eau). Au Mali, les herbicides ne sont pratiquement pas employés par les paysans ; les essais effectués par l'IER montrent que les produits utilisés au Sénégal peuvent donner de bons résultats. A la SEMRY, en repiquage, la formule spéciale repiquage à base d'oxadiazon a été essayée avec de bons résultats. En Mauritanie, des problèmes d'importation freinent la diffusion des herbicides, vitale pour les grands périmètres privés du delta.

Deux herbicides totaux sont intéressants en riziculture : le paraquat, qui permet d'éliminer les riz rouges annuels (et d'autres adventices éventuelles) avant le semis (aucune rémanence, un semis peut suivre très vite, par exemple sans travail du sol), et le glyphosate qui permet d'éliminer le riz à rhizome (97 à 99 % d'efficacité dans des essais de l'IER au Mali) tout en ayant une faible rémanence (10 jours environ).

Les ennemis des cultures

L'écologie de la zone sahélienne fait que les problèmes entomologiques et phytopathologiques sont beaucoup moins importants qu'en zone soudanienne (POISSON, 1970 ; BRENIERE, 1976).

Les foreurs de tige (stem borers) sont les seuls insectes nuisibles assez couramment répandus, sans toutefois représenter en général une menace économique justifiant un traitement systématique des rizières. Les principales espèces sont *Chilo zacconius*, *Maliarpha separata*, *Sesamia calamistis*, *Scirpophaga* sp. Les attaques sont plus rares en contre-saison qu'en hivernage. Le traitement au carbofuran en pépinière, très économique, permet de lutter contre les cœurs morts au tallage ; contre les panicules blanches, un traitement au champ, beaucoup plus onéreux, est nécessaire.

Certains défoliateurs peuvent faire ponctuellement des dégâts importants ; au Mali, des chenilles de *Spodoptera* sp. ravagent régulièrement certaines pépinières. Un traitement au carbofuran, à la deltaméthrine ou avec d'autres produits est efficace ; en repiquage, l'attaque est limitée aux pépinières, car les chenilles ne peuvent survivre en milieu inondé. Au Sénégal, on a noté parfois des attaques d'acridiens dans le delta.

Parmi les maladies, la seule qui ait une influence notable dans certains périmètres est la pyriculariose. La lutte est essentiellement organisée autour de la résistance variétale (remplacement de D 52-37 par H 15-23 DA à l'Office du Niger et de 44-56 par ITA 123 à la vallée du Kou). On note également, sans grande incidence, un peu d'helminthosporiose et de cercosporiose. La mosaïque (ou panachure) jaune du riz (RYMV, Rice Yellow Mottle Virus) commence à faire son apparition dans certaines zones du Burkina Faso, au sud (BG 90-2 y est sensible) ; la résistance variétale est aussi utilisée.

Les oiseaux posent un problème très grave dans la plupart des périmètres ; les dégâts sont particulièrement élevés sur les cultures de contre-saison. Les principaux responsables des dégâts à la maturation sont *Quelea quelea*, *Euplectes* sp., *Ploceus* sp. ; des destructions au parathion sont organisées pour réduire les populations. Certains oiseaux peuvent aussi provoquer des dégâts au semis, en particulier les oiseaux d'eau (canards, échassiers) sur les semis en prégermé.

Les rats peuvent provoquer de graves dégâts. Les pullulations sont brusques. Les raticides sont efficaces, mais sans pouvoir éliminer totalement la menace.

Le machinisme

Le premier problème mécanique à résoudre en riziculture est souvent celui du pompage, qui implique la gestion, par l'Etat ou, de plus en plus, par des groupements paysans, de groupes motopompes (Sénégal et Mauritanie, Nord-Mali, SEMRY 3 au Nord-Cameroun) ou de stations de pompage (delta et basse vallée du fleuve Sénégal, ONAHA, SEMRY 1). Des matériels fiables ont été identifiés dans tous les pays, l'idéal étant l'électrification lorsqu'elle est possible (delta du Sénégal, ONAHA). Quelques situations permettent de se passer du pompage (Office du Niger avec un barrage, vallée du Kou, SEMRY 2).

Pour la mécanisation du travail du sol, des solutions techniques très variées existent (voir ci-avant "Travail du sol"), et le choix dépend essentiellement de critères économiques. La culture manuelle n'est viable que pour les petites surfaces ; au-delà, la culture attelée peut être utilisée (Office du Niger, ONAHA), ou la motorisation (grands périmètres du Sénégal et de Mauritanie, SEMRY). Partout la motorisation a abouti à l'utilisation de tracteurs de forte puissance (plus de 100 cv) ; cependant, depuis quelques années, des tentatives de motorisation plus modestes ont été entreprises : tracteurs de 40 à 60 cv, qui semblent les plus intéressants (surtout pour un travail sous eau au rotavator), ou motoculteurs, avec des résultats souvent peu encourageants, en particulier au plan de la fiabilité et des temps de travaux (SAED, Office du Niger, SEMRY, vallée du Kou, ONAHA) ; l'utilisation du motoculteur ne semble à retenir que pour le travail à la fraise sous eau. La motorisation implique une utilisation collective, ou tout au moins fortement coordonnée (synchronisation des travaux), des équipements, qui peuvent être gérés par l'Etat (SEMRY), des groupements paysans (Sénégal) ou des entrepreneurs privés (Sénégal, Mauritanie). La culture attelée confère en revanche une large indépendance aux exploitants, particulièrement appréciable en double culture (ONAHA et Office du Niger, qui ont abandonné la motorisation), mais elle pose des problèmes d'entretien des animaux (disponibilité de pâturages ou cultures fourragères). Des essais d'introduction de buffles asiatiques sont en cours au Sénégal ; ces animaux demandent un milieu très humide.

Des petits matériels d'implantation existent (semoirs et repiqueuses, voir ci-avant "Techniques d'implantation"), ainsi que des sarcleuses manuelles pour le désherbage (voir ci-avant "Désherbage")

Pour la récolte, les moissonneuses-batteuses ont été testées, en particulier au Sénégal et en Mauritanie, où leur utilisation se développe rapidement dans les grands périmètres (privés ou associatifs), mais dans des conditions de rentabilité encore incertaines (taille des parcelles et entretien) ; les petites motofaucheuses, testées au Sénégal et à l'Office du Niger, ne sont pas très intéressantes. En revanche, la mécanisation du battage est partout un succès : si les petites batteuses à pédale asiatiques n'ont pas été appréciées (Sénégal, ONAHA), les batteuses à moteur sont très répandues. Des modèles simples et facilement transportables ont été développés à l'Office du Niger (et en Mauritanie) par la coopération néerlandaise ; bien que ne vannant pas, ils sont intéressants car très économiques. Dans de nombreux PPIV, le battage reste manuel, au bâton (Mali) ou sur des fûts (vallée du Sénégal, ONAHA).

Le transport est une question clé pour les agriculteurs, et c'est souvent lui qui permet de rentabiliser les tracteurs ; le peu de commodité des motoculteurs pour cette fonction a été une des causes de leur rejet (Sénégal). En traction animale, les bœufs de labour sont utilisés pour le transport à l'ONAHA, mais pas à l'Office du Niger, où on utilise les ânes.

Pour le décortiquage, le marché commande le développement : partout où la commercialisation est libre et le prix du riz blanc attrayant, une diffusion rapide des décortiqueuses artisanales est enregistrée (Sénégal, Mauritanie, Mali, Niger).

Systèmes de culture et systèmes de production

Il existe de nombreux acquis en matière de riziculture irriguée au Sahel, et beaucoup des résultats de la recherche sont déjà appliqués par les paysans : dans ces systèmes intensifs, le décalage entre la recherche et les techniques paysannes est beaucoup plus faible que dans les systèmes de culture pluviale. Les potentiels de production sont élevés, et les recherches actuelles visent (ou devraient viser) plus à faciliter l'obtention de ces potentiels (souplesse des itinéraires techniques, existence de pratiques alternatives, économie de temps ou d'intrants) qu'à les augmenter.

Les aspects économiques et les raisonnements en termes d'itinéraire technique, et non en termes de technique isolée, sont de plus en plus pris en compte dans les recherches. Dans tous les périmètres, des suivis des budgets de culture sont effectués, ainsi que des suivis des temps de travaux. Il a été plus difficile dans de nombreux endroits de s'intéresser à l'ensemble du système de production des paysans, activités non rizicoles incluses. Des travaux sont en cours dans ce sens au Sénégal (ISRA) et au Mali (Office du Niger) ; cet aspect semble encore avoir été peu pris en compte à la SEMRY et en Mauritanie.

Les travaux menés en matière de systèmes de culture et de systèmes de production facilitent le transfert des acquis et permettent de mieux définir leurs conditions d'application, ainsi qu'une meilleure orientation des recherches techniques vers la satisfaction des besoins réels des agriculteurs.

Bibliographie

Ouvrages de synthèse

ADRAO, 1989. Rapport annuel 1988. Monrovia, ADRAO.

ANGLADETTE A., 1966. Le riz. Paris, Maisonneuve et Larose, 930 p.

AUBIN J.P., DAGALLIER J.C., 1992. Mécanisation de la riziculture. Journée de la mécanisation de la riziculture, Villepinte (France), 3 mars 1992. Montpellier, CIRAD-SAR, 75 p.

BOSC P.M., YUNG J.M., FAUCK R., 1989. Essai d'évaluation des acquis de la recherche agronomique au regard du développement en zones soudano-sahéliennes. Montpellier, CIRAD-DSA, 210 p.

JAMIN J.Y., CANEILL J., 1984. Diagnostic sur les systèmes de culture pratiqués dans le cadre de la SAED sur la rive gauche du fleuve Sénégal. Tome 2 : Le milieu naturel et transformé. Tome 3 : Les systèmes de culture irriguée. St-Louis, ISRA, 162 p. et 210 p.

JAMIN J.Y., SANOGO M.K., 1989. Note sur les acquis du projet Retail de l'Office du Niger en matière de recherche-développement. Niono, Office du Niger, projet Retail, 20 p.

POISSON C., 1970. Bilan de 25 années de recherches rizicoles à Richard-Toll (Sénégal). Richard-Toll, IRAT, 96 p.

SEGUY J. *et al.*, 1985. La recherche agronomique dans la vallée du fleuve Sénégal. Bilan et diagnostic. ISRA, SAED, FAC, 155 p.

Documents spécialisés

BEAU (projet), 1981. Besoins en eau au niveau arroseur. Riz, canne. Ségou, Office du Niger, Université de Wageningen, 150 p.

BERTRAND R., 1985. Sodisation et alcalisation des sols de l'Office du Niger. Montpellier, IRAT, 25 p.

BRENIERE J., 1976. Principaux ennemis du riz en Afrique de l'Ouest et leur contrôle. Monrovia, IRAT-ADRAO, 87 p.

CERCI, 1981. Rapport annuel 1980. Bobo-Dioulasso, CERCI.

CHABROLIN R., 1965. Résultats de cinq ans de travaux conditionnant l'augmentation rationnelle de la productivité agricole tropicale. La riziculture. L'Agron. Trop., 20 : 966-971.

COULIBALY M., 1988. Etude de la fertilité des sols du projet Retail. Mémoire de fin d'études, ENSUP, Office du Niger, Bamako, 75 p.

COULIBALY M., 1989. Etude sur l'alcalinité et la sodicité des sols du projet Retail. Niono, Office du Niger, projet Retail, 20 p.

COULIBALY M.M., 1990. Rapport de synthèse des recherches variétales au projet Retail. Kogoni, IER, 10 p.

COURTESOLE P., JAMIN J.Y., 1982. Etude en milieu rural d'un système d'exploitation comportant une petite motorisation. Expérimentation d'appui au projet Ndombo-Thiago. Richard-Toll, ISRA-SAED, 91 p.

- COURTESSOLE P., 1985. Compte rendu des essais de travail du sol dans deux sols d'aménagement hydro-agricole dans la vallée du fleuve Sénégal. 1976-1985. Montpellier, CIRAD-IRAT, 33 p.
- DABIN B., 1951. Contribution à l'étude des sols du delta central nigérien. *L'Agron. Trop.*, 6 (11-12), 56 p.
- DEMBELE B. *et al.*, 1990. Commission technique. Malherbologie. Bamako, IER, 54 p.
- DENIAUD J., 1988. Mise en place et suivi d'essais fertilisation sur riz irrigué de contre-saison. Elaboration de valeurs de référence. Mémoire dirigé par J.Y. Jamin et M. Sébillotte, Paris, INAPG-projet Retail, 77 p.
- FAO, 1977. Crop water requirements. Rome, FAO.
- GEAU (projet), 1984. Gestion de l'eau. Trois tomes : rapport principal, gestion de l'eau, expérimentation agricole. Ségou, Office du Niger, Université de Wageningen, 97, 165, 190 p.
- GODDERIS W., 1986. Sélection variétale du riz dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal en rapport avec les contraintes locales. St-Louis, ADRAO, 100 p.
- GODON P., 1987. La recherche variétale en riz irrigué dans l'Extrême-Nord-Cameroun : 10 ans d'IR 46. Maroua, IRA-SEMRY, 9 p.
- GODON P., ADAMOU A., 1988. Etude des systèmes de production végétale. Mise au point de systèmes alternatifs dans les zones d'intervention de la SEMRY. Maroua, IRA-SEMRY, 9 p.
- GODON P., ADAMOU A., 1988. Fertilisation azotée, bilan. Maroua, IRA-SEMRY, 6 p.
- GODON P., ADAMOU A., 1988. Gestion de la matière organique dans un périmètre irrigué. Maroua, IRA-SEMRY, 12 p.
- IER, 1988. Expérimentation variétale en contre-saison chaude au projet Retail. Kogoni, IER, 13 p.
- IER, 1988. Observations phytosanitaires sur riz en contre-saison chaude au projet Retail. Kogoni, IER, 8 p.
- IER, 1989. Résultats des essais d'hivernage 1988 au projet Retail. Agropédologie. Kogoni, IER, 25 p.
- IER, 1989. Commission technique. Amélioration variétale riz 1988. Bamako, IER, 51 p.
- IER, 1989. Commission technique. Cellule agropédologie 1988. Bamako, IER, 230 p.
- IER, 1989. Résultats des essais de la cellule agropédologie en contre-saison 1989 au projet Retail. Kogoni, IER, 30 p.
- IER, 1990. Commission technique. Cellule agropédologie 1989. Bamako, IER, 141 p.
- IRAT, 1978. Le désherbage des rizières en Afrique de l'Ouest et leurs principales adventices. Monrovia, IRAT-ADRAO, 93 p.
- IRAT, 1989. Rapport annuel 1987-1988 du programme riz. Montpellier, CIRAD-IRAT.
- IRRI, 1985. Problèmes en riziculture. Guide d'identification. Los Baños, IRRI, 172 p.
- JAMIN J.Y., 1985. Principaux herbicides utilisés pour le riz par les paysans ou la recherche dans la vallée du fleuve Sénégal. St-Louis, ISRA, 5 p.
- JAMIN J.Y., 1986. Propositions d'actions de recherche et de développement pour une meilleure connaissance et une meilleure utilisation du milieu naturel de la vallée du fleuve Sénégal. St-Louis, ISRA, 49 p.

- JAMIN J.Y., 1986. La double culture dans la vallée du fleuve Sénégal : mythe ou réalité ? Cah. Rech.-Dév., 12 : 44-55.
- JAMIN J.Y., KEITA M., SOW M., 1990. Mécanisation en culture attelée dans l'intensification de la riziculture irriguée. Le projet Retail à l'Office du Niger. Cah. Rech.-Dév., 28 : 53-64.
- NOTTEGHEM J.L., BAUDIN P., 1981. Principales maladies du riz en Afrique de l'Ouest. Monrovia, IRAT-ADRAO, 33 p.
- Office du Niger, 1985. Evaluation de la première expérience en vraie grandeur de la double culture du riz à l'Office du Niger. Ségou, Office du Niger, 15 p.
- Projet Retail. Rapports annuels 1986 à 1988. Comités de suivi technique 1 à 10. Niono, Office du Niger.
- RIJKS C., 1976. Agrométéorologie. Développement de la recherche agronomique dans le bassin du fleuve Sénégal. Rome, FAO-PNUD-OMVS, 171 p.
- TOUJAN M., 1980. Evolution des sols irrigués. Grenoble, Office du Niger, SOGREAH, 15 p.
- VAN HOVE C. *et al.*, 1983. *Azolla* en Afrique de l'Ouest. Monrovia, ADRAO, 54 p.

L'arachide

**Robert Schilling
CIRAD-CA**

Table des matières

Amélioration variétale et physiologie	75
Tolérance à la sécheresse	75
Amélioration de la productivité	76
Agronomie et systèmes culturaux	77
Le poids de l'environnement économique	77
Phytotechnie	78
Itinéraires techniques	79
Défense des cultures	80
Maladies et ravageurs à la levée	81
Maladies foliaires	81
Les iules	82
Aflatoxine	82
Nématodes	83
Technologie	83
Qualités technologiques et semencières	83
Conservation et stockage	84
Transformation industrielle des graines	84
Appui au développement	85
Multiplication de semences et plans semenciers	85
Opération arachide de bouche	86
Lutte contre les nématodes au Sénégal	86
Bibliographie	87

La recherche arachidière en Afrique de l'Ouest, dans les zones de savanes sèches, a été entreprise dès avant 1930 sur la station de Bambey, au Sénégal, et au Nigeria (station de Samaru). Elle a connu un développement important à partir de 1950, avec l'implantation de l'IRHO au Sénégal et au Burkina Faso. La création du Réseau arachide de la CORAF, coïncidant en 1987 avec l'ouverture du Centre sahélien de l'ICRISAT à Sadoré (Niger), lui ouvre des perspectives nouvelles.

Amélioration variétale et physiologie

Les recherches de base (création de matériel végétal et mise au point des tests d'évaluation et de criblage) sont réalisées pour l'essentiel au Nigeria (Samaru), au Sénégal (Bambey) et au Burkina Faso (Niangoloko), ces deux dernières stations ayant vocation respectivement pour couvrir les problèmes relatifs aux zones soudano-sahéliennes (contrainte dominante : sécheresse) et aux zones soudano-guinéennes (contrainte dominante : maladies).

Les programmes ont profondément évolué tant dans leurs objectifs que dans les méthodes utilisées pour les atteindre. Cette évolution s'est donc traduite par un renouvellement total du matériel végétal mis à disposition des agriculteurs en Afrique de l'Ouest : passage de populations locales rampantes, de 120 jours, peu productives et à petites graines, à une gamme de variétés érigées, de 90 à 150 jours, productives, mieux adaptées à la sécheresse, tolérantes à certaines maladies ou présentant des caractéristiques permettant de les écouler sur des marchés plus rémunérateurs (arachide de bouche). La carte des variétés diffusées au Sénégal, qui fluctue en fonction des conditions climatiques et de la politique gouvernementale, est l'illustration de ce travail ; elle régit la production et la diffusion effectives, chaque année, des semences de variétés recommandées par la recherche.

Cinq principaux thèmes de sélection peuvent être distingués : l'amélioration de la productivité ; la tolérance à la sécheresse ; la tolérance aux maladies foliaires ; la tolérance à *Aspergillus flavus* (agent de l'aflatoxine) ; l'arachide de bouche et de confiserie.

Tolérance à la sécheresse

Initié au Sénégal, ce sous-programme s'étend à présent au centre-nord du Burkina Faso et couvre une large gamme de situations géographiques affectées par la sécheresse (Nordeste du Brésil, Botswana).

Physiologistes et sélectionneurs collaborent depuis plusieurs années à Bambey pour retenir, parmi le très grand nombre de variétés ou de populations existantes, quelques types intéressants par leur résistance à la sécheresse. Différentes techniques ont été utilisées et une batterie de tests a été mise au point ; appliqués à la collection d'arachides disponible au Sénégal, ces tests suivis d'essais variétaux réalisés en plein champ dans des conditions de sécheresse naturelle ou simulée ont conduit à la diffusion de la variété 55-437 proposée à la vulgarisation dans la partie septentrionale du bassin arachidier, la plus exposée à la sécheresse (isohyètes 400 à 650 mm).

Cette variété a été reprise comme géniteur dans le programme en cours à Samaru (Nigeria). La non-dormance des graines, caractéristique des types spanish et valencia, expose ces variétés à germer immédiatement si l'humidité persiste au moment de la maturité.

La sélection s'est donc orientée vers l'obtention de types résistants à la sécheresse et dormants destinés à pallier cet inconvénient dans les zones centre du pays exposées à des pluies tardives (isohyètes 600 à 900 mm). Ainsi ont été obtenues la variété 73-30, à cycle de 95 jours, et la variété 73-33 à cycle de 105 jours, descendances des croisements spanish x virginia. Ce matériel végétal est unique au monde et a été introduit par l'ICRISAT dans les collections et les essais variétaux de la plupart des pays producteurs de la zone semi-aride. Il a connu une très large diffusion au Sénégal.

Schématiquement, la sécheresse en zone sahélienne et soudano-sahélienne peut prendre deux formes :

- saison des pluies courte et précipitations faibles : situation typique des zones nord ;
- saison des pluies prolongée, mais distribution souvent irrégulière et pluviosité totale souvent déficitaire : cette situation survient fréquemment dans les zones centre et sud.

Pour les zones nord, les programmes de sélection en cours sont orientés en priorité vers la recherche des variétés plus précoces, à partir d'un géniteur de 75 jours de cycle. Pour les zones centre et sud, ils visent à créer des variétés présentant des caractères physiologiques leur permettant de traverser des périodes de sécheresse sans dommages irréversibles. Les variétés tardives ont un potentiel de production plus important, et leur capacité de récupération après une sécheresse en début ou au milieu du cycle conduit souvent à les préférer aux variétés hâtives. Un idéotype d'adaptation à la sécheresse a donc été défini ; il est basé sur trois principaux caractères physiologiques : la croissance racinaire, la résistance protoplasmique, l'optimisation de la transpiration stomatique.

Les résultats permettent de préciser, pour une forme de sécheresse déterminée, les caractéristiques adaptatives que doit présenter l'idéotype à rechercher. Quatre tests ont été mis au point qui permettent de cribler environ 800 individus par cycle de sélection pour les caractères de résistance protoplasmique à la chaleur et à la dessiccation par mesure de la fuite d'électrolytes, de régulation des pertes en eau mesurée sur feuilles détachées, et de caractéristiques d'enracinement étudiées en rhizotron.

Amélioration de la productivité

Ce thème a un caractère synthétique et intègre les autres thèmes. Il prend en compte les principales composantes du rendement et la qualité des produits obtenus en fonction des conditions locales de production. Sont à mentionner parmi les critères de sélection : le rendement (gousses, fanes, levée, décorticage) ; l'adaptation écologique (longueur de cycle, dormance, tolérance à la sécheresse et aux maladies) ; la réponse aux techniques culturales (préparation de sol, fumure, mécanisation) ; la qualité des produits (composition en huile, en acides aminés, caractéristiques commerciales et organoleptiques).

Une vingtaine de variétés sont actuellement multipliées en Afrique de l'Ouest francophone. Elles sont pour la plupart issues des centres de sélection de Bamby (Sénégal) ou de Niangoloko (Burkina Faso) d'où elles ont été très largement diffusées dans toute la région ainsi que dans la zone climatique correspondante d'Afrique australe. Toutes ont été retenues pour leurs bonnes qualités de base (productivité, port érigé, teneur en huile, maturation simultanée et groupée). Leurs principaux caractères spécifiques sont donnés dans le tableau I.

Tableau I. Caractéristiques des principales variétés d'arachide diffusées en Afrique de l'Ouest.

	Hâtivité < 100 jours	Dormance	Tolérance sécheresse	Tolérance rosette	Décortilage > 70 %	Poids 100 graines > 50 g	Aptitude bouche/ confiserie
55-437	X		X		X		X
73-30		X	X		X		
47-10	X				X		X
Te 3	X		X				
Ts 32-1	X		X				
KH-149 A	X			X			
KH 241 D	X			X			
55-422		X			X	X	X
73-33		X	X		X	X	
28-206		X			X		
69-101		X		X	X		
57-313		X			X		
RMP 12		X		X	X	X	
GH 119-20		X				X	X
756 A		X				X	X
73-27		X			X	X	X
73-28		X			X	X	X

Agronomie et systèmes cultureux

L'augmentation de la productivité de l'arachide est recherchée simultanément par l'amélioration du matériel végétal et par la mise au point de systèmes de culture susceptibles de le valoriser au mieux, compte tenu :

- des facteurs du milieu physique (nécessité de maintenir et d'améliorer durablement la fertilité des sols) ;
- des contraintes socio-économiques qui pèsent sur le monde rural (disponibilités foncières, coût et mise en place des équipements et intrants, politiques de subventions et de crédit...).

Le poids de l'environnement économique

La recherche arachidière a été amenée à prendre en compte l'environnement socio-économique de la production, qui apparaît comme une contrainte essentielle à l'application des résultats de la recherche. L'effet des prix et de leurs fluctuations est déterminant : prix d'achat des récoltes, prix de cession des intrants, revenus relatifs escomptés commandent les choix techniques de l'agriculteur et son ouverture sur le marché. Or l'exemple de l'arachide, culture "motrice" en zone soudano-sahélienne, atteste à l'évidence que les politiques des prix n'accompagnent généralement pas les déclarations d'intention officielles ni ne valorisent les moyens techniques et financiers consentis en faveur du développement. L'évolution en dents de scie des maigres consommations d'engrais en Afrique de l'Ouest et leur déclin dramatique depuis une décennie n'ont pas d'autre origine. Les politiques d'intensification si souvent proclamées ont parfois vu, sur la période considérée, la suppression du crédit et le triplement du prix de cession de l'engrais, qui ont eu pour conséquence la quasi-disparition de la fertilisation de l'arachide et des céréales cultivées en rotation avec elle.

Cette situation incite à préconiser, en milieu paysan, la pratique méthodique et généralisée de techniques dites légères, de préférence à l'application nécessaire-

ment ponctuelle et financièrement plus aléatoire de thèmes dits lourds réservés à une minorité d'agriculteurs susceptibles d'en assumer les risques économiques : il s'agit en particulier de la combinaison labour/phosphatage de fond/fumures annuelles fortes, dont la vulgarisation au Sénégal a été abandonnée. Cette orientation réaliste devrait être poursuivie dans le cadre de la recherche-développement.

Phytotechnie

■ Systèmes de culture

L'effet de la jachère naturelle ou travaillée sur les rendements de l'arachide et des céréales, comparé aux rendements de ces mêmes plantes en culture continue, a été mesuré sur des essais conduits pendant plusieurs décennies au Sénégal, au Burkina Faso et au Nigeria.

La jachère herbacée, composée essentiellement de graminées naturelles, peut avoir une action de conservation du profil cultural et relever faiblement le taux de matière organique du sol. Elle limite la dégradation des rendements, sans toutefois l'enrayer, dans des systèmes de culture à caractère extensif ou dans des régions particulièrement défavorisées du point de vue du sol et du climat. En revanche, dans de bonnes conditions de climat et de sol, la durée de la jachère pourra être réduite en fonction des fumures apportées ; elle pourra même être supprimée.

Parmi tous ceux qui ont été testés, les meilleurs systèmes de culture (ceux qui procurent à l'agriculteur les plus-values les plus élevées tout en maintenant la fertilité des sols) sont les systèmes les plus "évolus", combinant la fumure organique et minérale ainsi que la restitution des résidus de récolte.

Dans les zones à risque (faible pluviométrie, sols très sableux et érosifs où les labours répétés sont à proscrire), une rotation du type arachide-céréale-jachère (jachère-arachide-mil-arachide au Sénégal) sera préconisée ; dans les zones plus favorables, la culture continue arachide-céréale peut être envisagée.

Dans les deux cas, le taux de matière organique du sol devra être maintenu : sur une culture continue, un apport de fumure minérale seule couvrant pourtant les besoins en éléments majeurs ne permettra pas d'enrayer l'acidification des sols par diminution des cations, et cette réduction de la fertilité se traduit effectivement par celle des rendements. Malgré les problèmes que pose la disponibilité en matière organique, ce facteur constitue une condition impérative pour assurer, en zone soudano-sahélienne, la reproductibilité d'un système de culture basé sur l'alternance arachide-céréale.

■ Fertilisation

Les études ont reposé sur des travaux de physiologie et de nutrition minérale complétés par des essais factoriels de fumure. Les niveaux critiques des éléments N, P, K, Ca, Mg, S ont été déterminés par la méthode du diagnostic foliaire : les teneurs en ces éléments, mesurées par analyse d'échantillons de feuilles, fournissent des indications utiles sur la nutrition de la plante et sur les seuils de carence (en fait, il s'agit de courbes critiques N-poids sec, P-N, S-N). Cette technique, en complément des analyses de sol et de l'expérimentation au champ a permis, à partir des courbes de réponse et des coûts, de déterminer les formules les plus rentables pour chaque zone. Ainsi a été établie, pour le Sénégal, une carte des fumures qui a commandé les fabrications d'engrais dans ce pays pendant plusieurs décennies, en collant de très près aux conditions édapho-climatiques locales : carence en P dominante sauf dans la zone de Thiès où affluent les phosphates

naturels ; formes de P solubles dans le nord, avec incorporation progressive de phosphates tricalciques moins solubles pour les zones centre et sud ; correction de la carence en Mo dans certaines zones par incorporation de molybdate (30 g/ha) directement dans le produit de traitement fongicide des semences ou sous forme de Nutramine, etc.

Dans les autres pays producteurs, et particulièrement au Nigeria, les fumures appliquées à l'arachide consistent en un apport combiné de fumier de parc (2,5 à 7,5 t/ha) et de superphosphate simple (60 à 100 kg/ha), visant à maintenir un taux suffisant de matière organique dans le sol et à corriger les carences principales (S et P).

■ Lutte contre les adventices

La poussée des mauvaises herbes en début de saison est très préjudiciable à la jeune arachide et l'exécution correcte, à bonne date, du premier désherbage est un facteur déterminant de réussite de la culture, d'autant que l'agriculteur est très pris à cette époque par les derniers semis et le sarclage prioritaire des céréales.

Le désherbage manuel ou mécanique précoce permet en outre d'ameublir le sol et d'enfouir l'engrais, lui assurant une valorisation optimale. L'exécution de cette façon culturale constitue un progrès important de la technicité de l'agriculteur, largement diffusé dans les zones de grande production (bassin arachidier sénégalais, Nord-Nigeria).

Des herbicides et des formulations ont été testés avec succès : Lasso + Dinuron, Cotodon au Burkina Faso, Cotodon + Gramoxone, Gesaten au Sénégal. Le coût de ces produits à l'hectare était de l'ordre de 10 000 FCFA en 1986 ; leur diffusion se trouve confrontée, là encore, à la faiblesse de trésorerie des producteurs et aux difficultés techniques d'application.

Itinéraires techniques

Les techniques mises au point pour l'amélioration des cultures pluviales principales (arachide et mil-sorgho) au Sénégal ont fait l'objet de recommandations précises des organismes de recherche. Les thèmes concernant l'arachide ont été très largement appliqués dans le bassin arachidier :

- utilisation de variétés sélectionnées ;
- traitement fongicide des semences ;
- semis en ligne, à bonne date, bonne densité et bonne profondeur ;
- mécanisation légère en traction animale (semis, sarclage, soulèvement) ;
- fumure minérale légère épandue et enfouie à bonne date ;
- désherbage à bonne date ;
- récolte à bonne maturité.

L'interaction de ces thèmes et l'estimation des plus-values obtenues dans les rendements (en essais agronomiques) sont données en figure 1.

L'application de ces thèmes, réalisée à grande échelle au Sénégal dans la décennie 1960-70, a entraîné le passage d'une agriculture manuelle à une agriculture mécanisée, pour l'arachide (qui a financé cette mutation) comme pour les céréales cultivées en rotation avec elle.

La stratégie adoptée répondait à la nécessité d'une prise de risque minimale dans une zone très exposée à la sécheresse :

- variétés rustiques, adaptées à des conditions difficiles de sol et de climat ;
- matériels et ateliers largement polyvalents et de faible coût ;
- fumures légères, calculées en fonction de leur rentabilité à court terme ;

- bonne intégration dans les pratiques culturales et le calendrier agricole traditionnel.

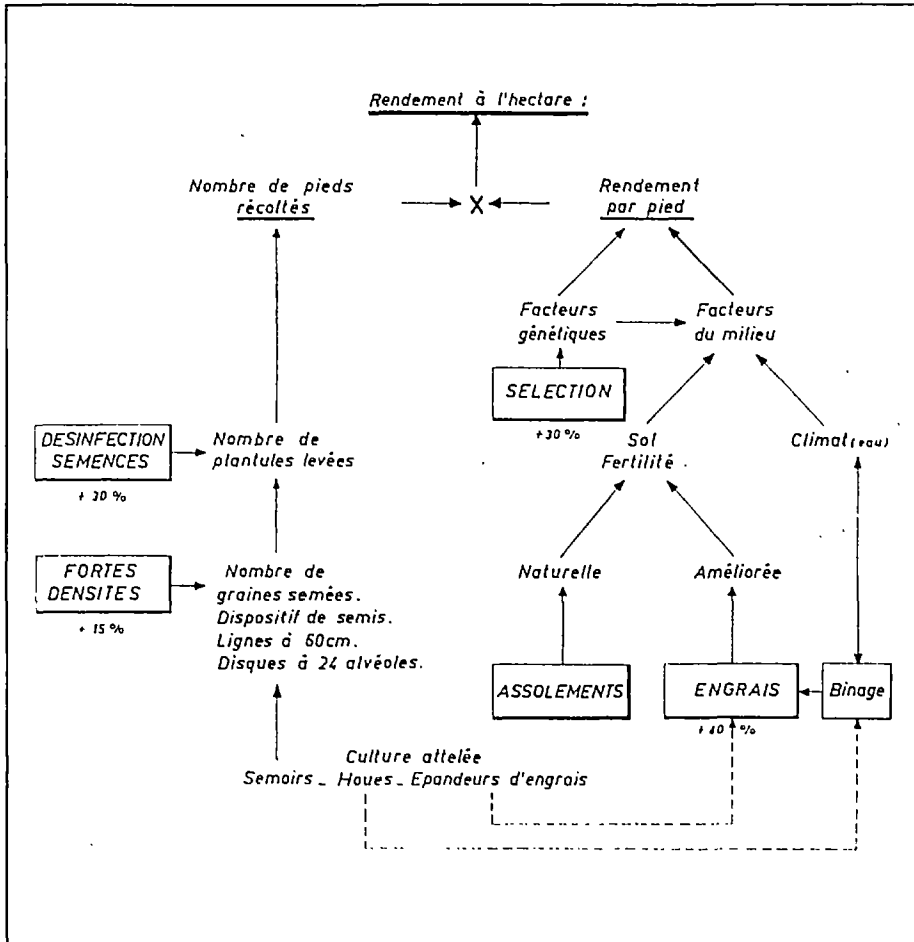


Figure 1. Principaux facteurs de rendement de l'arachide (d'après IRHO-IRAT, 1963).

Défense des cultures

L'arachide est attaquée par de nombreux déprédateurs dont les dégâts se traduisent par une baisse sensible de productivité et une détérioration de la qualité des produits. On relève à la fois des attaques d'arthropodes (insectes, myriapodes), de vers (nématodes), d'agents pathogènes (champignons, virus) et la concurrence des adventices. Les problèmes phytosanitaires en Afrique deviennent plus aigus à mesure que les rotations culturales raccourcissent, que la double culture annuelle s'étend et que les échanges internationaux de graines se développent. La recherche a abordé ces problèmes sur le plan des méthodes culturales, de l'amélioration variétale, des traitements chimiques et technologiques. Six thèmes principaux seront distingués.

Maladies et ravageurs à la levée

De nombreux champignons ainsi que des insectes (termites, coléoptères) et myriapodes (iules) attaquent les graines et les plantules en cours de germination et provoquent des pertes à la levée pouvant atteindre 50 %. La désinfection des semences à l'aide de produits fongicides + insecticides est nécessaire et a donné lieu à de nombreuses études ; une technique d'enrobage à sec a été mise au point et plusieurs formules ont confirmé leur efficacité (bénomyl + captafol, captane + carbosulfan, etc.). Parmi celles-ci, le Granox (10 % benomyl, 10 % captafol, 20 % carbofuran) donne d'excellents résultats (+ 33 % d'effet moyen sur les densités en grande culture). Ces traitements, peu onéreux et très efficaces, sont très généralement appliqués et le produit est distribué aux agriculteurs partout où la mise en place des semences est assurée par un service spécialisé. La composante fongicide du traitement est de loin la plus importante, et l'hypothèse selon laquelle le champignon s'installerait sur des blessures préexistantes a été vérifiée. L'enrobage industriel et la distribution de semences décortiquées et fongicidées, prêtes à l'emploi, est en cours de pévulgarisation au Sénégal.

Maladies foliaires

Trois maladies ont un impact économique sur la productivité de l'arachide en Afrique. Leur incidence est d'autant plus importante qu'on se rapproche de la partie soudanienne du Sahel.

■ La rosette

C'est une maladie virale transmise par un puceron. Des variétés résistantes ont été sélectionnées au Burkina Faso et au Nigeria ; l'épidémiologie de la maladie est connue, bien que le mécanisme de transmission et d'action du virus ne soit pas totalement élucidé. La rosette peut anéantir les récoltes dans de vastes régions si les conditions climatiques de l'année se prêtent à une infestation précoce ; les traitements chimiques ne sont pas accessibles au paysannat traditionnel (coût et modalités d'application) mais l'utilisation de variétés résistantes permet de prévenir la maladie dans toutes les circonstances. Ces variétés, vulgarisées dans les zones où la rosette sévit de manière endémique, y ont rencontré un grand succès (69-101 en Casamance, Guinée-Bissau, Tchad ; RMP 12 et RMP 91 au Burkina Faso, Tchad, Mozambique, etc.) et l'ICRISAT les a incluses dans son programme de création variétale et d'essais variétaux internationaux.

■ Les cercosporioses (hâtive et tardive)

Elles sont universellement présentes sur les cultures d'arachide, à des degrés variés, provoquant une défoliation prématurée et des baisses de rendement pouvant atteindre 50 %. De nombreux produits ou formulations ont été essayés avec succès ; la mise en pratique en milieu paysan est toujours difficile, d'autant qu'il est souvent nécessaire de traiter simultanément contre la rouille et contre les cercosporioses. Seul le mancozèbe (Dithane M45) est efficace contre les trois maladies mais la fréquence de ses applications (une par semaine) est prohibitive. Des techniques culturales préventives limitent l'incidence de la maladie : alternance arachide-céréale, semis précoce, fumure minérale (apport de soufre notamment), enlèvement des fanes et élimination (enfouissement ou brûlis) des résidus de récolte.

■ La rouille

Elle est apparue en Afrique de l'Ouest après 1970 et s'étend dangereusement. Les études en cours portent sur la sélection de variétés résistantes, sur la biologie et l'épidémiologie du pathogène et sur les traitements chimiques. Des résultats ont été obtenus dans la connaissance des conditions de survie interannuelle de la rouille sur place, sur l'épidémiologie en relation avec les paramètres climatiques, sur les relations hôtes-pathogènes (périodes d'infection critiques pour le rendement), sur les méthodes d'appréciation de la résistance (appui à la sélection), sur les méthodes agronomiques préventives et en matière de lutte chimique.

Les iules

Les études ont conduit à l'identification des cinq espèces les plus nocives, responsables de la plupart des dégâts à la levée sur cultures pluviales et sur les jeunes gousses d'arachide en formation. Trois types de traitements ont été mis au point : protection à la levée par incorporation d'insecticides dans le produit de poudrage des semences ; appâts illicides épandus à la fructification ; traitement du sol. Seuls les deux premiers sont vulgarisés au Sénégal sur les cultures d'arachide de bouche, particulièrement sensibles et susceptibles de rentabiliser ces traitements onéreux. Les recherches se poursuivent sur le double plan des données bioécologiques et des nouveaux produits. La lutte biologique est également envisagée.

Aflatoxine

L'aflatoxine, présente dans de nombreux produits alimentaires dont l'arachide, serait responsable de lésions hépatiques auxquelles les jeunes animaux d'élevage sont particulièrement sensibles. De fortes présomptions pèsent également sur le rôle de ces substances (secrétées par un champignon, *Aspergillus flavus*) dans l'étiologie du cancer du foie chez l'homme. La toxine étant éliminée par le raffinage de l'huile, le problème se pose à deux niveaux : emploi des graines et des produits dérivés en alimentation directe ; utilisation du tourteau en alimentation animale.

Les conditions de contamination de l'arachide sont connues et des méthodes de lutte éprouvées sur le plan agronomique ont été proposées :

- utiliser les variétés dont le cycle est adapté à la saison des pluies ;
- respecter les dates optimales de semis et de récolte ;
- appliquer les thèmes cultureux préconisés : rotations culturales, densités de semis, fumure, désherbages, afin d'assurer à la plante un développement physiologique optimal ;
- récolter et conditionner séparément les gousses les plus contaminées (pieds flétris prématurément, restes en terre, meules réhumidifiées par des pluies tardives) ;
- assurer une protection insecticide et illicide efficace ;
- raccourcir au maximum la phase critique du séchage, et introduire dès que possible le battage mécanique précoce.

Il va de soi que ces mesures doivent être intégrées dans un plan global. Il serait en effet sans objet d'aboutir à un produit intermédiaire sain, sans le protéger aux stades ultérieurs de la filière (fabrication, stockage, conditionnement et transport du tourteau, de l'arachide de bouche et des produits dérivés).

La lutte curative relève du conditionnement industriel et du traitement (détoxification) des produits, arachide de bouche et tourteau, afin de les rendre conformes aux normes sanitaires de plus en plus contraignantes du marché international. Les techniques d'élimination des gousses et graines contaminées, par tri électronique, sont au point ; le dépelliculage au peroxyde d'hydrogène permet une ségrégation précoce et un tri plus aisé des graines contaminées ; la détoxification des tourteaux à l'ammoniac permet d'obtenir un produit sain et enrichi en azote. Les huileries du Sénégal appliquent ce procédé à grande échelle, et le tourteau sénégalais détoxifié est de nouveau présent sur les marchés mondiaux.

Des tests d'inoculation artificielle ont été mis au point et sont utilisés pour le tri des variétés et des descendance d'hybrides (programmes de sélection de variétés tolérantes).

Nématodes

Les nématodes nuisibles à l'arachide causent de fortes pertes de rendement en gousses et en fanes, surtout dans la moitié nord du bassin arachidier sénégalais où le problème a été décelé, et probablement dans la plupart des zones de production. L'espèce la plus nocive a été identifiée (*Scutellonema cavense*) et une méthode de lutte a été mise au point et appliquée en vraie grandeur dans le centre-nord du Sénégal (DBCP, 12 kg M.A./ha en traitement du sol, 4 000 ha en 1988). Les rendements sont augmentés en moyenne de 500 kg/ha pour les gousses et de 1 000 kg/ha pour les fanes ; l'arrière-effet sur la céréale suivante est de + 350 kg/ha et la rémanence du traitement est de cinq ans. Les recherches en cours portent sur les essais de produits (doses et modes d'application, résidus éventuels), sur les mesures agronomiques d'accompagnement (densités, travail du sol, fertilisation), sur les modalités d'application en milieu paysan (organisation des producteurs, crédit).

Technologie

Le programme technologie de l'arachide avait pour objectif initial d'évaluer l'aptitude à la transformation industrielle de variétés d'arachide nouvelles, créées ou introduites (définition d'idéotypes variétaux et tests technologiques) en appui aux programmes de sélection. Assez rapidement, certains aspects liés à la qualité de l'arachide ont constitué des thèmes de recherche à part entière, conduits en étroite relation avec les programmes en amont, les organismes de développement et les industriels. Les recherches en cours contribuent à la mise au point de procédés devant aboutir à une meilleure valorisation des produits de la filière.

Qualités technologiques et semencières

La production d'arachide de bouche doit satisfaire à des normes très strictes dont certaines sont spécifiques mais dont d'autres conduisent à une valorisation générale de la production arachidière, notamment dans le domaine sanitaire (contrôle de l'aflatoxine) et dans celui de la technologie semencière. L'arachide de bouche sert donc de moteur et de banc d'essai pour l'ensemble de la production. Les exigences du marché et celles du producteur portent sur les principaux points

suivants : taux de décortilage, valeur germinative, absence d'aflatoxine, couleur de la pellicule et de la coque, morphologie et calibre des graines et des coques, aptitude au dépelliculage et au splittage, qualités organoleptiques après grillage.

Des tests fiables et reproductibles ont été mis au point pour la mesure de ces différents paramètres. Ces méthodes sont appliquées pour le criblage variétal et pour l'évaluation de la qualité des lots. Une dizaine de cultivars dont 73-27 et 73-28 ont été retenus comme remplaçants possibles de la variété de bouche GH 119-20 actuellement cultivée dans le centre-sud du Sénégal, ou pour l'extension de la culture dans de nouvelles zones. Quelques variétés ont été retenues pour leur double vocation en huilerie-confiserie (55-437, 73-33) et leur cycle plus court adapté aux zones sèches.

L'effet de divers traitements agronomiques sur les qualités technologiques et semencières de l'arachide a été mesuré : le calcium apporté au 40^e jour en épandage localisé améliore la densité et la taille des gousses, le rendement au décortilage, la taille des graines, le rendement en graines exportables et le pouvoir germinatif. Une dose de 25 kg/ha de bore provoque une augmentation importante du pouvoir germinatif, notamment en cas de sécheresse. L'application des régulateurs de croissance (daminozide) augmente les rendements en gousses et la valeur semencière mais induit aussi une nette réduction de la taille des gousses et des graines (10 et 15 %). Elle est donc très bénéfique pour la multiplication des semences mais non pour l'exportation de la première génération.

Conservation et stockage

Le stockage en vrac traditionnellement pratiqué ne convient pas pour des produits de qualité comme les semences et l'arachide de bouche. On est amené à désinsectiser ces produits en coques ou en graines, par la fumigation au bromure de méthyle dont les modalités d'emploi sont bien au point (doses, pluralité de traitements, teneur en eau des graines), puis à les conditionner et les stocker de manière adéquate.

Le stockage réfrigéré des graines a été mis au point entre 1970 et 1975. Il autorise des durées de conservation élevées (2 ans) sans chute sensible de germinabilité des semences, à condition de respecter un retour progressif à la température ambiante lors du déstockage. La capacité actuelle du Sénégal atteint 2 000 t de graines ; elle a pour objectif principal la conservation d'un stock de sécurité destiné aux zones sèches.

Le stockage sous vide compensé à l'azote, en sacs étanches de 25 kg, a fait l'objet d'une expérimentation très suivie. Une fois conditionnées, les semences peuvent être dispersées pour être stockées chez l'utilisateur sans précautions particulières : le vide résiduel assure un blocage rigide des graines qui évite la casse et le dépelliculage par frottement lors des transports et manutentions. La technique a franchi le stade expérimental au Sénégal, avec le conditionnement de 200 t de semences dès 1986.

Transformation industrielle des graines

La production de graines de qualité pouvant être utilisées comme semences ou exportées sur le marché de l'arachide de bouche est étudiée à tous les stades critiques de la séquence industrielle.

L'amélioration des techniques de décorticage a permis d'obtenir des rendements en graines entières sur coques très supérieurs à ce qui était réalisé précédemment (compris entre 50 et 60 %), après modification des équipements standards d'huilerie.

La technique du tri électronique, adaptée à l'arachide, permet l'élimination quasi complète des graines contaminées par l'aflatoxine et de toutes graines défectueuses présentant une couleur différente. Elle a été adoptée au Sénégal pour la production de semences et la fabrication de graines blanchies destinées au grillage.

La production industrielle de semences d'arachide prêtes à l'emploi a été mise au point au Sénégal : les procédés de décorticage, de tri, d'enrobage et de conditionnement sont à présent entièrement mécanisables, bien que les difficultés subsistent pour le passage au niveau pilote industriel. Les taux de levée au champ des semences ainsi produites atteignent un niveau proche de la densité optimale de plantation.

Ces procédés ont une grande importance, car la faiblesse du capital semencier géré par l'Etat dans la plupart des pays ouest-africains implique qu'un effort soit fait sur la qualité. Dans le même temps, une attention accrue devra être portée aux problèmes qui se posent pour la production et la conservation des semences personnelles.

Appui au développement

Les chercheurs ont été souvent amenés à prendre en charge des opérations pilotes dans un but de confirmation et d'application des résultats de la recherche arachidière. Ces opérations se sont fréquemment étendues sous la forme de projets de développement, voire d'organismes nationaux intégrés à la fonction publique, auxquels la recherche continue d'apporter son assistance technique. Les principales opérations conduites en Afrique tropicale sèche sont présentées.

Multiplication de semences et plans semenciers

La recherche apporte son assistance technique dans les domaines de la programmation, du contrôle des productions, de la technologie, du stockage et du conditionnement des semences. Ses interventions prennent souvent la forme d'opérations mixtes : production de semences de base, recherche d'accompagnement, assistance au développement. Elles ont largement contribué à la diffusion de nouvelles variétés et à la consolidation des structures semencières nationales (Sénégal, Niger, Tchad).

Au Sénégal, où la carte variétale a été entièrement modifiée dans le courant de la dernière décennie, le dispositif semencier a permis de maintenir les superficies en arachide malgré l'impact de la sécheresse. La nouvelle politique mise en place à partir de 1985 prévoit à terme le renouvellement des semences tous les trois ans seulement : cette orientation impliquera que les programmes de recherche-développement soient davantage orientés vers l'assistance aux agriculteurs pour la production et le stockage des semences personnelles, et vers la gestion centralisée d'un capital de sécurité correspondant à un tiers des besoins annuels (35 000 tonnes de coques environ).

Opération arachide de bouche

Au Sénégal, dans le cadre de la Nouvelle politique agricole, la maîtrise d'œuvre de la production d'arachide de bouche a été confiée à la SEPFA, société filiale de la SONACOS, avec l'assistance technique de la recherche. Un dispositif intégré assure l'approvisionnement et la mise en place des intrants, l'établissement du crédit de campagne, le choix des producteurs, leur formation et le suivi des cultures, l'achat des récoltes, la récupération du crédit, l'organisation des transports et la livraison aux usines de transformation, la production, le conditionnement et la conservation des semences. Le projet ne bénéficie pas d'aides ou de subventions de l'Etat, la SEPFA finançant la totalité des dépenses d'encadrement sur ses fonds propres : 15 556 t ont été commercialisées dans les régions de Kaolack et Fatick en 1988-89. Pour le traitement des productions, la SONACOS a demandé à l'IRHO une étude pour la mise en place d'une usine de 25 000 t de capacité, extensible à 50 000 t, comprenant un atelier de conditionnement de graines grillées-salées et un atelier de fabrication de beurre d'arachide.

Des études du même ordre ont été réalisées au Mali (installation de conditionnement d'arachide de confiserie à San), et au Burkina Faso (ingénieur-conseil pour l'équipement industriel arachide de bouche et semences de la SOFIVAR à Ouagadougou).

Lutte contre les nématodes au Sénégal

Les nématodes ont un effet néfaste sur l'arachide et les cultures en rotation (mil, niébé) dans la moitié nord du bassin arachidier. Des résultats spectaculaires ont été obtenus, tant en gousses qu'en fanes et en grains, grâce aux traitements nématicides. Un projet de lutte a été initié en 1984, avec pour objectif de promouvoir dans les meilleures conditions la dénématisation de champs dans les zones de Thiès et Diourbel, avec extension possible vers le nord et vers le sud. L'opération est menée conjointement par la recherche, la vulgarisation et les services de la protection des végétaux.

L'interaction constante entre ces opérations mixtes recherche-développement et les programmes de recherche thématique fait partie du mode d'intervention et des acquis de la recherche arachidière. Elle permet aux chercheurs de s'adapter de très près aux besoins et aux difficultés du monde rural, et donne à l'ensemble du programme sa cohérence et son efficacité à tous les stades de la filière, depuis la création du matériel végétal jusqu'au conditionnement industriel et l'exportation du produit.

Bibliographie

- ANNEROSE D.J., 1988. Critères physiologiques pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. *Oléagineux*, 43 (5) : 217-222.
- BOCKELEEE-MORVAN A., 1973. La multiplication des semences d'arachide en Afrique de l'Ouest. *Oléagineux*, 28 (2) : 73-83.
- BOCKELEEE-MORVAN A., GILLIER P., 1974. Essais d'élimination de l'aflatoxine de l'arachide par des méthodes physiques. *Oléagineux*, 29 (11) : 513-516.
- CARRIERE DE BELGARRIC R., BOUR F., 1963. Le développement de la productivité de l'arachide au Sénégal. *Oléagineux*, 18 (10) : 613-620.
- CHÂRREAU C., NICOU R., 1971. L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques. Paris, IRAT, 254 p. (Bull. agronomique, n° 23).
- DELBOSC G., 1968. Etude sur la régénération de la fertilité du sol dans la zone arachidière du Sénégal. *Oléagineux*, 23 (1) : 27-33.
- GAUTREAU J., 1977. Niveaux de potentiels foliaires intervariétaux et adaptation de l'arachide à la sécheresse au Sénégal. *Oléagineux*, 32 (7) : 323-332.
- GILLIER P., SYLVESTRE P., 1969. L'arachide. Paris, Maisonneuve et Larose.
- JONES M.J., 1971. The maintenance of soil organic matter under continuous cultivation at Samaru, Nigeria. *J. Agric. Sci., Camb.*
- KHALFAOUI J.L., 1988. Approche de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées en zones semi-arides. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) destinée à la région sèche du Sénégal. Thèse de doctorat, Université Paris-Sud.
- LOMBIN G., SINGH L., YAYOCK J.Y., 1985. A decade of fertilizer research on groundnuts in the savannah zone of Nigeria. *Fert. Res.*, 6 : 157-170.
- Long term fertility studies at Samaru. Samaru Miscellaneous Papers n°s 67 (1977), 72 (1977), 75 (1978), Ahmadu Bello University, Nigeria.
- PICASSO C., 1987. Aflatoxine, rosette et rouille de l'arachide. Environnement climatique propice à leur présence et développement. *Oléagineux*, 42 (1) : 25-33.
- PICASSO C., 1987. Evolution du rendement et de ses composantes pour l'arachide et quelques cultures en rotation dans le sud du Burkina Faso. *Oléagineux*, 42 (12) : 469-474.
- PIERI C., 1989. Fertilité des terres des savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement, Montpellier, CIRAD-IRAT, 44 p.
- ROUZIÈRE A., 1986. Stockage des semences d'arachide décortiquées en atmosphères contrôlées. I. Essais préliminaires, 1979-1982. *Oléagineux* 41 (7) : 329-344.
- ROUZIÈRE A., 1986. Stockage des semences d'arachide décortiquées en atmosphères contrôlées. II. Essais de précommercialisation, 1983-1985. *Oléagineux*, 41 (11) : 507-518.
- SCHILLING R., 1969. Etudes variétales sur l'arachide de bouche au Sénégal. Débouchés et perspectives. *Oléagineux*, 24 (11) : 621-626.

Le niébé

**Mamadou Ndiaye
CNRA Bambey, ISRA Sénégal**

Table des matières

Génétique et amélioration variétale	93
Physiologie et agronomie	95
Abscission florale	95
Fertilisation	96
Densité de semis	96
Fixation symbiotique de l'azote	97
Entomologie	98
Agroclimatologie	99
Phytopathologie	99
Stockage et commercialisation	99
Vers une culture rentable	100
Bibliographie	101

Le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) est la deuxième légumineuse, après l'arachide, présente dans le système de culture traditionnel au Sénégal.

Il représente une source précieuse de protéines dont le taux élevé (22 à 24 %) et l'excellente qualité le destinent à jouer un rôle important dans l'équilibre nutritionnel des populations rurales, et plus particulièrement dans la lutte contre la déficience protéinique des enfants.

Sa culture revêt donc un intérêt considérable, surtout dans les zones nord et centre-nord, où il constitue parfois la principale ressource vivrière. Outre cet intérêt pour l'alimentation humaine, le niébé peut être un aliment de choix pour le bétail du fait même de la qualité de son feuillage. Dans une optique d'autosuffisance alimentaire et de diversification des cultures, il est d'une importance réelle de promouvoir la culture du niébé en créant un matériel végétal performant dans des conditions écologiques défavorables à son développement. Les recherches se sont donc orientées vers la résistance à la sécheresse, la protection de la plante et de la récolte, la fixation symbiotique d'azote, la valorisation des disponibilités hydriques et minérales, la fertilisation phospho-potassique et enfin la tolérance aux maladies.

Génétique et amélioration variétale

Les travaux de sélection sur le niébé ont réellement commencé en 1953 à Bambey (TARDIEU, 1957). Antérieurement, les activités se sont limitées au maintien d'une collection et à quelques essais de techniques culturales.

- Entre 1953 et 1960, plusieurs prospections ont été faites au Sénégal et en Afrique occidentale. La collection obtenue (247 lignées) avait été divisée en variétés de jours "courts" et en variétés indifférentes à la photopériode (SILVESTRE, 1965 ; SENE, 1965). Des croisements entre variétés de jours "courts" et variétés "indifférentes" avaient permis de déterminer la date à laquelle ces deux groupes se différenciaient : pour la latitude de Bambey (14°42' N), celle-ci se situait aux environs du 1^{er} au 5 octobre (journées de 12 heures d'éclairage environ). Les variétés sensibles à la photopériode étaient celles dont 50 % des pieds fleurissaient après cette date (TARDIEU et SENE, 1966). Les observations effectuées sur la collection indiquaient une liaison étroite entre tardiveté, grosseur de la graine, d'une part, port rampant de l'autre, le port érigé ne se rencontrant que chez les variétés indifférentes (SENE, 1966).

- Les premiers croisements réalisés à partir de 1967 avaient pour objectif la création de variétés à cycle court (75 jours), à port érigé, permettant une récolte groupée, à grosses graines de couleur crème à œil coloré (SENE, 1965). Jusqu'en 1964, les travaux étaient dominés par la recherche d'une meilleure connaissance génétique de la plante. Le taux d'allogamie a été estimé entre 0,22 % et 2,06 % dans les conditions écologiques du Sénégal. L'allopollinisation était essentiellement le fait des insectes et plus particulièrement du genre *Mylabris* (SENE, 1965).

- Entre 1964 et 1967, des tests variétaux avaient permis d'identifier des variétés de niébé adaptées aux différentes zones de production du Sénégal. Plusieurs variétés étaient alors recommandées : 58-57 et 58-75 pour le nord ; 58-185, 59-25 et 59-57 pour le centre-sud.

Ce fut également une phase de correction des principales variétés pour la production de grosses graines à couleur crème et œil noir de la variété 58-40 et pour le port dressé net et la résistance à la verse (SENE, 1968).

Ce texte a été rédigé par M. NDIAYE en 1986 dans le cadre de ses travaux au CNRA Bambey.

● De 1967 à 1974, les études génétiques et d'amélioration portant notamment sur le port, la précocité, la grosseur des graines et sur le niébé fourrager (SENE, 1971, 1974) ont abouti à une nouvelle répartition variétale selon les différentes zones écologiques du Sénégal (tableau I).

Tableau I. Principales variétés de niébé vulgarisées au Sénégal.

Variété	Cycle végétatif semis-50 % floraison (jours)	Zone de culture	Couleur de la fleur	Couleur de la gousse	Port	Couleur de la graine	Poids de 100 graines (g)
58-57	44	Nord	Bicolore blanche	Verte	Rampant	Crème petit œil marron	10,5
58-74 Fourrage	77	Toute zone	Bicolore blanche	Verte, points rouges	Intermédiaire	Rouge ponctué de gris	12,0
59-75	46	Nord	Concolore pourpre	Verte, points rouges	Erigé	Ponctué de gris	10,6
58-185	36	Centre	Concolore pourpre	Verte, points rouges	Erigé	Chamois avec taches violettes à marron	13,8
59-25	46	Centre	Concolore pourpre	Verte, points rouges	Erigé	Ponctué de gris sur fond clair	11,5
58-111	68	Sud	Bicolore blanche	Verte	Rampant	Pie noire	22,5
59-9	73	Sud	Bicolore blanche	Verte, points rouges	Rampant	Crème avec petit œil marron	11,9
66-35 Fourrage	43	Toute	Bicolore blanche	Verte, points rouges	Intermédiaire	Beige avec pointes grises	10,5
Ndiambour	44	Nord	Bicolore blanche	Verte	Rampant	Crème à œil beige	14,9
Mougne	47	Centre	Bicolore blanche	Verte	Intermédiaire	Ponctué de gris-bleu sur fond crème à petit œil noir	14,2
Bambey 21	41	Centre	Blanche	Vert foncé	Erigé	Crème	18,3

Cependant, l'acquis que représentait la création de telles variétés n'a jamais été mis entièrement à profit : rendement trop bas du fait de l'application insuffisante de techniques agronomiques appropriées ainsi que de problèmes phytosanitaires et de commercialisation non résolus. L'essentiel du travail sur le niébé au Sénégal, en matière d'amélioration, s'est alors limité à un maintien de la collection existante.

● Ce n'est qu'en 1979, avec la mise sur pied d'une nouvelle équipe de chercheurs et avec l'aide de différentes sources de financement (projet CRSP Niébé,

CILSS, IITA et SAFGRAD), qu'une variabilité génétique importante a été introduite au Sénégal pour redémarrer les recherches sur de nouvelles bases.

Dans le cadre du projet CRSP Niébé réalisé avec l'université de Californie (Riverside, USA), des variétés américaines sélectionnées pour la résistance à la sécheresse et aux hautes températures ont été introduites dans les différentes zones écologiques du Sénégal en essais initiaux, en comparaison avec les variétés locales (CISSE *et al.*, 1983).

Les variétés les plus prometteuses ont ensuite été testées dans des essais de synthèse avec les meilleures variétés locales, avant d'être proposées à la pré vulgarisation. Certaines variétés américaines ont révélé une bonne adaptabilité dans nos conditions de culture. Elles ont été utilisées dans des croisements avec des variétés locales pour leurs caractères de résistance à la sécheresse, à la chaleur, aux insectes et aux maladies (HALL, 1982, 1983, 1984).

En 1983, la collection de niébé était déjà constituée de 347 lignées hâtives (indifférentes à la photopériode), 72 tardives (photosensibles) et 31 irradiées. Des prospections faites en 1983 ont permis d'obtenir 14 échantillons dans le bassin arachidier et 71 échantillons en Basse Casamance (CISSE, 1985).

Les quatre dernières années d'essais variétaux ont révélé que les facteurs limitants de la culture du niébé sont la sécheresse et le parasitisme. C'est pourquoi un nouveau programme d'hybridation et de sélection a été entrepris, avec comme priorité les problèmes de résistance à la sécheresse, en utilisant la précocité comme critère de sélection.

Les sources de précocité des variétés 78-37, VCS-14, TVU-1174 et KVU-69 ont été identifiées en vue d'améliorer les variétés locales : Mougne, Ndiambour, Bambey 21 et 58-57. Les populations de F2 et F3 seront évaluées en 1985 (CISSE, 1985). Un des objectifs du programme est également d'augmenter la productivité du niébé, les rendements des variétés actuellement vulgarisées semblant plafonner à 2 000-2 200 kg/ha. Des croisements entre les meilleures variétés locales et celles introduites sont en cours pour obtenir des combinaisons génétiques permettant d'améliorer le potentiel productif (CISSE, 1985).

Les variétés à grosses graines 1-1-14 et IAR 1696 sont utilisées dans des croisements avec des variétés locales, Bambey 21, Mougne et Ndiambour, pour augmenter la taille des graines.

En ce qui concerne la résistance aux insectes, trois principaux groupes d'insectes représentent un danger pour la culture et le stockage du niébé au Sénégal. Il s'agit de *Amsacta moloneyi*, des thrips et des bruches. Mais seul le programme de résistance aux bruches est engagé avec l'identification des sources de résistance. Les variétés IT81D-1137 et IT81D-1032 sont déjà retenues et utilisées dans des croisements avec 58-57 pour la résistance aux bruches (CISSE, 1985).

Physiologie et agronomie

Il s'agit de créer des variétés productives insensibles à la photopériode, à haut coefficient d'utilisation de la radiation photosynthétique active, résistantes à la sécheresse et capables de satisfaire leurs besoins en substances nutritives.

Abscission florale

Le niébé peut perdre jusqu'à 88 % de ses fleurs. Les causes de cette chute sont d'ordre interne et externe. Il ressort d'une première étude que la transformation des

fleurs en gousses pourrait être améliorée par une cueillette des gousses en plein développement ; il semble donc exister une compétition entre les fruits et les fleurs dans la mobilisation des substances nutritives (NDIAYE, 1984). La surface foliaire est étroitement liée à la production des fleurs. Les variétés à petites graines produisent plus de fleurs que les variétés à grosses graines (DIOUF, 1984). Certaines variétés sénégalaises, 58-57 et Mougne, ont tendance à perdre plus de fleurs du fait de leur floraison indéterminée, ce qui constitue un handicap en cas de sécheresse et d'attaques par les insectes (DIOUF, 1984).

Fertilisation

Les études antérieures relatives à la fumure minérale du niébé au Sénégal (NICOU et POULAIN, 1968) ont montré que la réponse aux éléments principaux de la fumure minérale peut varier suivant l'écologie. On a enregistré une bonne réaction à des apports de phosphore, conditionnée par la quantité, la fréquence et la répartition des pluies.

Le potassium est nécessaire pour la zone de Bambey et très faible pour la zone Nord lorsque le niveau du phosphore est suffisant. Dans le cadre d'une option de valorisation des ressources naturelles, l'utilisation des phosphates naturels, comme fertilisants de la culture du niébé, est envisagée. Ces derniers, bien que moins solubles que les engrais minéraux qui sont chers, sont plus accessibles aux paysans du fait de leur coût amoindri. Différentes formes de phosphore ont été testées mais les résultats obtenus par DIOUF (1985) n'ont pas donné de différence significative sur le rendement. Le phosphate tricalcique appliqué seul ou avec du potassium donne un résultat économique intéressant.

Densité de semis

Le problème de la densité de semis a été étudié en tenant compte de deux impératifs :

- réaliser un semis mécanique à un écartement suffisant entre les lignes pour permettre un entretien facile : une distance de 0,50 m est considérée comme un maximum compatible avec un sarclage mécanique ; différentes densités ont été obtenues en faisant varier l'écartement sur la ligne ;

- moduler la densité en fonction du cycle et du port de la variété ; on pensait que les variétés érigées supporteraient des densités plus élevées que les rampantes.

Les résultats les plus intéressants ont été obtenus dans les zones centre-nord et nord du Sénégal pour des variétés hâtives érigées. Les essais réalisés de 1962 à 1966 (NICOU et POULAIN, 1968) avaient permis de conclure que la densité de 50 000 poquets à l'hectare (0,50 m x 0,40 m) à 3 graines par poquet était la meilleure pour un semis à la main et qu'un bon semis mécanique pouvait être réalisé avec un semoir à arachide, en utilisant un disque de distribution à 24 trous transformable en 8 trous en bouchant 2 alvéoles sur 3.

Ces études de densité ont été de nouveau envisagées sur un matériel végétal à port varié. Les résultats qui ont été obtenus ont montré que les écartements de 0,60 m x 0,60 m et 0,90 m x 0,30 m sont plus indiqués pour les variétés à port rampant (ex. : 58-57) ; pour les variétés à port érigé telles que 1-2-1 et B-21, l'écartement 0,60 m x 0,40 m paraît meilleur (DIOUF, 1985). Actuellement, les écartements recommandés sont de 0,50 m x 0,50 m pour le type rampant et 0,50 m x 0,25 m pour le type érigé.

Fixation symbiotique de l'azote

Le niébé présente l'avantage de pouvoir pousser sur des sols peu fertiles, en l'absence de fortes fumures azotées, s'il parvient toutefois à établir une symbiose efficace avec les *Rhizobium* spécifiques et par ce moyen à fixer l'azote atmosphérique.

Accroître la fixation symbiotique de N_2 pour améliorer les rendements du niébé tout en réduisant les consommations d'engrais azotés est l'objectif principal du programme de rhizobiologie.

La possibilité d'accroître la productivité du niébé par l'utilisation des *Rhizobium* n'avait pas échappé aux chercheurs du CNRA de Bambey. En effet, quelques travaux ont été effectués dans le domaine de la fixation biologique d'azote, mais ces actions ont porté essentiellement sur l'étude de l'inoculation. Des essais d'inoculation du niébé menés par TARDIEU (1961) ainsi que TARDIEU et SENE (1962) ont montré que cette technique n'avait aucun effet significatif sur la modulation et la fixation.

Après 1971, les problèmes relatifs à la synthèse *Rhizobium*-niébé avaient cessé de faire l'objet d'un programme de recherche. Ce n'est qu'en 1981 que les études sur la fixation d'azote du niébé ont été à nouveau envisagées.

En 1982, ce programme s'est orienté vers une autre voie de recherche, différente de l'inoculation, qui implique la sélection de variétés capables d'établir une relation symbiotique efficace avec les souches de *Rhizobium* indigènes, en vue de leur utilisation dans les différents schémas d'amélioration variétale. Les premières expériences réalisées (NDIAYE, 1982, 1984) pendant deux années successives sur un matériel végétal diversifié ont montré que l'aptitude à moduler et fixer l'azote varie en fonction du cultivar considéré ; les variétés d'origine sénégalaise, Ndiambour et 58-57, possèdent de bons caractères symbiotiques pour avoir manifesté les meilleures combinaisons avec les souches de *Rhizobium* indigènes.

L'affinité qui existe entre la variété et les bactéries symbiotiques est liée à la nature du port du macrosymbionte, en outre elle est très influencée par les facteurs édapho-climatiques du milieu ; ainsi, dans les conditions de sécheresse plus accentuées de l'hivernage 1983, à Louga, les variétés d'origine américaine, à cycle court et à port érigé (CB5 et 1-2-1), ont supplanté 58-57 et Ndiambour du point de vue de la modulation et de la fixation de N_2 . La variété Mougne présente une modulation et une fixation nettement inférieures à celles des autres variétés. Ces premiers résultats laissent apparaître des différences de comportement symbiotique entre variétés, et que des variétés telles que Ndiambour et 58-57 pourraient être utilisées comme géniteurs pour améliorer la fixation d'azote d'autres variétés à faible niveau de fixation comme Mougne.

Cependant, la méthode de réduction de l'acétylène (ARA) utilisée pour ce tri est une méthode indirecte, destructive et qui nécessite l'emploi d'un chromatographe en phase gazeuse. C'est pourquoi, en 1984, une autre méthode qui consiste à doser les uréides dans les différents organes de la plante a été préconisée ; celle-ci a l'avantage d'être une méthode directe et de pouvoir être employée pour un nombre plus important de variétés.

En 1984, la méthode de l'ARA a été comparée à celle de dosage des uréides. Les principaux résultats obtenus montrent que la concentration d'uréides dans les tiges et celle dans le suc de xylem sont bien corrélées avec la méthode de l'ARA ; ce qui indique que ces deux méthodes sont également valables pour estimer la fixation de N_2 . Elles sont très bien corrélées entre elles ($r = 0,971$ et $r = 0,967$, respectivement, aux 15° et 28° jours après semis) (NDIAYE, 1985). La méthode de dosage des uréides dans les tiges apparaît comme la plus rapide et la plus fiable,

surtout dans des conditions de culture au champ ou en cas de sécheresse, quand il est très difficile de collecter du suc et de déterrer le maximum de système racinaire (pour l'ARA).

En outre, les possibilités d'amélioration de la fixation symbiotique du niébé en présence des souches *Rhizobium* indigènes ont été étudiées. En effet, certains facteurs pédoclimatiques (faible humidité du sol, acidité, faible niveau de fertilité, etc.) peuvent limiter l'implantation et le fonctionnement du système fixateur d'azote. Ainsi, différentes techniques d'amélioration fonclère ont été expérimentées.

Les résultats obtenus sur ce volet ont montré que les amendements organique (fumier) ou calcique (chaux) favorisent la nodulation et la fixation par rapport au témoin non amendé (NDIAYE, 1985). Par ailleurs, dans la cas d'une culture associée mil-niébé qui a reçu une fumure de type N-P-K sous forme de 6-20-10 à 150 kg/ha sur le niébé et 150 kg/ha de 14-7-7 plus 100 kg/ha d'urée sur le mil, le système fixateur de la légumineuse est inhibé, et par conséquent le niébé entre en concurrence avec le mil pour l'utilisation de l'azote minéral du sol et de l'engrais (NDIAYE, 1985). On a noté également que l'apport de faibles quantités d'azote (9 kg/ha) améliore la nodulation et l'activité fixatrice d'azote du niébé en culture pure. L'efficacité de l'utilisation de cet azote "starter" dépend des caractéristiques génétiques de la variété : elle est plus élevée avec IAR 48 qu'avec 58-57 et 1-12-3 (NDIAYE, 1985).

Par contre, l'application de phosphate tricalcique (200 kg/ha) ou de phosphogypse (50 kg/ha) n'a pas donné d'effet significatif sur le système fixateur et le rendement du niébé (NDIAYE, 1985). Mais leur effet à long terme pourrait être bénéfique, compte tenu de la faible solubilité de cet engrais et de l'importance du phosphore dans le mécanisme de fixation.

Entomologie

Le niébé est l'une des cultures les plus parasitées au Sénégal, les principaux insectes étant *Amsacta moloneyi* dans la zone nord (Louga), les thrips des fleurs dans les zones centre-nord et centre-sud (Nioro). Les études entomologiques ont pour objectif de proposer aux agriculteurs un paquet technologique permettant d'assurer la protection de la culture.

Près de 40 espèces d'insectes nuisibles ont été identifiées parmi lesquelles *Amsacta moloneyi*, *Maruca testulalis*, *Taeniothrips sjostedti*, *Callosobruchus quadrimaculatus* sont les plus dommageables (NDOYE, 1981). Des méthodes de lutte chimique contre *Amsacta*, *Maruca* et *Callosobruchus* ont été également mises au point (NDOYE, 1978).

L'évolution du voltinisme de la chenille poilue au Sénégal a été étudiée (NDOYE, 1978). D'autres résultats concernent l'évolution des populations de *Spodoptera exempta* et *Littoralis* ainsi que les thrips.

En 1982 et 1983, l'incidence des attaques de thrips sur la chute des fleurs et des boutons floraux a été étudiée. On a montré que les thrips constituent près de 100 % des insectes trouvés dans les fleurs mais qui n'y avait pas de relation étroite entre l'infestation par les thrips et le taux de chute des fleurs sur le niébé cultivé à Bambey (NDOYE et DIOP, 1984). En 1984, un essai de protection phytosanitaire du niébé contre les thrips a été implanté à Bambey, Nioro et Louga. A Bambey, le nombre de thrips par fleur sur les parcelles traitées n'atteignait pas l'unité, alors que sans protection le nombre variait entre 3 et 10 thrips par fleur. A Nioro, où l'infestation était plus forte, on a observé, malgré le traitement phytosanitaire, 3 thrips par fleur, et 7 thrips par fleur en moyenne sans protection, le pourcentage de chute étant de 51 et 80, respectivement avec et sans protection phytosanitaire.

Enfin, à Louga, la sécheresse qui a sévi durant le cycle (173,6 mm) n'a pas permis d'obtenir des résultats interprétables bien que l'on ait observé une infestation de thrips peu importante. Pour les fleurs, on sait que les dégâts des thrips se manifestent par l'avortement puis la chute de la fleur, mais il n'est pas encore bien établi que les thrips soient à l'origine des pertes excessives des organes fruitiers du niébé, en zone tropicale sèche.

Agroclimatologie

Les premières études ont permis de déterminer les besoins en eau du niébé, qui sont de 200 mm pour une production moyenne de l'ordre d'une tonne de grain à l'hectare, équivalant à une pluviométrie de 300 à 350 mm (FRETEAUD et DANCETTE, 1983), ce qui explique l'intérêt de cette culture dans les zones arides. L'intérêt de l'association de la culture en dérobée ou de relais a été mis en évidence pour valoriser les réserves en eau du sol. Différents systèmes de culture à base de niébé ont été testés à Louga et à Bambey. A Louga, zone marginale, la culture double ou en dérobée n'est pas envisageable, alors que la culture pure du niébé de cycle court s'avère très intéressante (DANCETTE, 1984). A Bambey, l'association mil-niébé présente plus d'intérêt par rapport à la culture pure ou double, du point de vue financier. La culture en dérobée peut être intéressante dans la zone de Bambey et plus au sud, car elle permet d'assurer le succès de la culture principale (le mil), et on peut toujours espérer une récolte du niébé (au moins les fanes pour l'alimentation du bétail) (FRETEAUD et DANCETTE, 1983).

Phytopathologie

Le problème des maladies du niébé, bien que peu préoccupant, du moins dans les zones nord et centre-nord, a fait l'objet de prospections en Casamance sur des parcelles d'essai et en champ paysan. En 1984, des bactérioses et viroses ont été identifiées. La tolérance de certaines variétés à la bactériose, bacterial blight, maladie causée par *Xanthomonas campestris* p. *Vignicola*, a été notée. Cette observation implique la nécessité d'un meilleur suivi pathologique de nos variétés. Une équipe de recherche se met en place pour étudier cette question.

Stockage et commercialisation

Le niébé subit l'attaque de nombreux ravageurs en période de végétation et durant le stockage. La bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus*, occupe une place importante parmi ces ravageurs. L'infestation commence au champ et s'aggrave lors du stockage. Il s'ensuit d'importantes variations du prix du kilogramme en cours de saison. Les travaux avaient débuté par des enquêtes en milieu paysan pour estimer la production de niébé, comprendre le circuit du niébé de la récolte au semis et recenser les différentes méthodes de stockage traditionnelles.

En 1984, la comparaison en milieu paysan (SECK, 1984) de trois traitements de la récolte a montré que la méthode de stockage en fût métallique se révèle plus efficace que le traitement chimique au pirimiphos méthyl (Actellic 2 %). Le taux d'attaque dans le fût métallique a été de 2 %, contre 21 % et 45 % respectivement

pour l'Actellic et le témoin non traité. En outre, avec le stockage en gousses des récoltes dans des sacs en plastique imperméable, on observe les dégâts de la bruche après 45 jours et l'infestation après 3 mois. En revanche, le battage diminue le pourcentage d'attaque et augmente la mortalité des individus dans le sac. Enfin, lorsqu'on effectue des récoltes successives tous les quatre jours, le taux d'attaque des gousses augmente : il varie de 14 % à 31 % de la première à la quatrième récolte.

L'application de bonnes techniques de récolte et de stockage et l'approfondissement de certaines questions devraient permettre dans un délai raisonnable de mettre à la disposition du paysan une méthode efficace pour mieux conserver sa récolte.

Vers une culture rentable

La reconstruction d'une équipe pluridisciplinaire presque complète en 1983 a permis le redémarrage des recherches sur le niébé au Sénégal. Cela était une nécessité vitale au moment où le développement de la culture du niébé en zone aride ou semi-aride est d'une importance réelle pour l'autosuffisance alimentaire et la survie des populations. Au Sénégal, dans la zone nord, seul le niébé permet à l'agriculteur d'espérer une récolte quelle que soit la pluviométrie.

Les solutions aux différentes contraintes inhérentes à la culture du niébé proposées par les diverses disciplines scientifiques laissent espérer une transformation de la culture traditionnelle du niébé en une culture à caractère rentable, bénéficiant de matériel végétal amélioré, des avantages de techniques culturales appropriées et d'une protection phytosanitaire presque totale.

Bibliographie

- CISSE N., 1985. Projet CRSP Niébé. Rapport annuel 1984. Bambey, ISRA-CNRA, 12 p.
- CISSE N., THIAW S., SENE A., 1984. Projet CRSP Niébé. Essais variétaux. Bambey, ISRA, 7 p.
- DANCETTE C., 1984. Principaux résultats obtenus en 1983 par la division de climatologie sur les systèmes de culture à base de niébé au Sénégal. Bambey, CNRA, 5 p.
- DIOUF T., 1984. Physiologie du niébé. Synthèse des travaux effectués au CNRA de 1982 à 1983. Bambey, ISRA-CNRA.
- DIOUF T., 1985. Agrophysiologie du niébé. Bambey, CNRA.
- FRETEAUD J.P., DANCETTE C., 1983. Synthèse des recherches agroclimatologiques sur le niébé. Bambey, CNRA, 4 p.
- HALL E.A., 1982. Report on research at the University of California, Riverside, in 1982 and proposal research for 1983. Riverside, University of California, Department of Botany and Plant Sciences.
- HALL E.A., 1983. Summary report research at the University of California, Riverside, in 1983. Riverside, University of California, Department of Botany and Plant Sciences.
- HALL E.A., 1984. Developing cowpea varieties with improved yield under conditions for extrem drought and heat. East Lansing, Michigan State University.
- NDIAYE A., 1983. Etude physiologique de l'abscission florale chez le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) dans le cadre du CRSP Niébé. Bambey, CNRA (coll. Etudes techniques).
- NDIAYE M., 1982. Screening des variétés de niébé (*Vigna unguiculata*) sur l'efficacité symbiotique des souches de *Rhizobium* indigène. Programme CRSP Niébé. Bambey, CNRA (coll. Etudes techniques).
- NDIAYE M., 1984. Etude de la nodulation et de la fixation d'azote de 10 variétés de niébé en symbiose avec les souches de *Rhizobium* locales. Programme CRSP Niébé. Bambey, CNRA, 7 p. (coll. Etudes techniques).
- NDIAYE M., 1985. Projet CRSP Niébé. Principaux résultats obtenus sur la fixation symbiotique d'azote par le niébé en 1984. Bambey, CNRA, 28 p.
- NDOYE M., 1978. Données nouvelles sur la biologie et l'écologie au Sénégal de la chenille poilue du niébé : *Amsacta moloneyi* DRc. (*Lepidoptera, Arctiidae*). I. Voltinisme et dynamique des populations. Cah. ORSTOM, sér. Biol., 13 (4) : 321-331.
- NDOYE M., 1981. Le programme d'entomologie du niébé au Sénégal. In : 3^e atelier OUA/CSTR sur le maïs et le niébé, Ibadan (Nigeria), 25-27 février 1981.
- NDOYE M., DIOP K., 1984. Principaux résultats entomologiques obtenus dans le cadre du projet CRSP Niébé au Sénégal en 1983. Bambey, CNRA, 5 p.
- NICOU R., 1965. Etudes sur les techniques culturales et la fumure minérale du niébé. In : Première réunion technique FAO sur l'amélioration de la production des légumineuses et des légumineuses à graines en Afrique, Dakar (Sénégal), 18-24 janvier 1965.
- NICOU R., POULAIN J.F., 1968. La fumure minérale du niébé au Sénégal. In : Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive (Madagascar), 19-25 novembre 1967. Nogent-sur-Marne, IRAT.

OULIE B., 1971. Synthèse des études réalisées au Sénégal sur la symbiose *Rhizobium*-légumineuse. Bambey, CNRA.

SECK D., 1984. Protection des récoltes et développement de la lutte intégrée contre l'entomofaune des denrées stockées en milieu paysan au Sénégal. ISRA, 61 p.

SECK D., 1985. Recherches sur le stockage du niébé. Bambey, ISRA-CNRA.

SENE D., 1965. I. Détermination du taux d'allogamie du niébé. II. Contribution à la définition d'une méthodologie expérimentale pour les comparaisons variétales chez le niébé. III. Méthode d'échantillonnage pour la détermination rapide du poids de 100 graines sur niébé. IV. La culture du niébé dans la République du Sénégal. V. A la recherche d'un test précoce de rendement sur niébé. VI. Les variétés de niébé cultivées au Sénégal. In : Première réunion technique FAO sur l'amélioration de la production des légumes et des légumineuses à graines en Afrique, Dakar (Sénégal), 18-24 janvier 1965.

SENE D., 1966. Inventaire des principales variétés de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) cultivées au Sénégal. L'Agron. Trop., 21 (8) : 927-933.

SENE D., 1968. Hérité du poids de cent graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (niébé). L'Agron. Trop., 23 (12) : 1345-1351.

SENE D., 1971. L'amélioration du niébé (*Vigna unguiculata*) au CNRA de Bambey de 1959 à 1969. L'Agron. Trop., 26 (10) : 1031-1065.

SENE D., 1974. L'amélioration du niébé (*Vigna unguiculata*) au CNRA de Bambey de 1959 à 1973. Résultats obtenus entre 1970 et 1973. L'Agron. Trop., 29 (8) : 772-802.

SILVESTRE P., 1965. Les légumineuses à grains. L'Agron. Trop., 20 (10) : 987-989.

TARDIEU M., 1957. Les cultures d'appoint dans la zone d'action du CRA de Bambey. Ann. CRA Bambey, I, p. 5-54.

TARDIEU M., 1961. Compte rendu des activités 1960-1961 de la section d'amélioration des cultures de diversification au CRA de Bambey. Bambey, CRA, 173 p.

TARDIEU M., SENE D., 1962. Compte rendu sur la symbiose bactérienne des légumineuses au Sénégal. IRAT Sénégal.

TARDIEU M., SENE D., 1966. Le haricot niébé (*Vigna unguiculata* Walp.) au Sénégal. L'Agron. Trop., 21 (8) : 918-926.

Les cultures maraîchères

**Hubert de Bon
CIRAD-CA**

Table des matières

Une réussite dans le domaine de l'innovation	107
Les principales espèces	107
L'oignon	107
La tomate	108
La pomme de terre	109
Espèces diverses (chou cabus, carotte, aubergine)	110
Des recherches sur la production de saison chaude	110
Jardin maraîcher	111
Production commerciale	111
Production de saison chaude	111
Bibliographie	112

Une réussite dans le domaine de l'innovation

Les cultures maraîchères sont caractérisées par une forte valeur ajoutée du produit, qui est obtenu avec un niveau élevé d'intrants et une main-d'œuvre importante sur des exploitations généralement de petite surface. Celles-ci se sont beaucoup développées depuis les vingt dernières années. On peut considérer, comme AUTISSIER (1988), qu'elles constituent une véritable réussite dans le domaine technique. Cette extension du maraîchage s'est faite dans la région sahélienne proprement dite, sous des formes diverses : jardins de case, périmètres irrigués souvent collectifs, périmètres agro-industriels, jardins collectifs et jardins privés de ceinture verte autour des villes.

Les ceintures vertes les plus grandes, celles des capitales, sont exclues de la zone sahélienne car ces villes sont situées sous des climats différents : Dakar et la presqu'île du Cap-Vert subissent un climat subcanarien ; Bamako, Ouagadougou, Bobo-Dioulasso et Niamey sont sous climat soudano-sahélien.

Les principales causes de ce développement sont les possibilités d'exportation (essentiellement pour le Sénégal et le Burkina Faso qui exportent 4 000 t chacun de légumes par an) et d'accroissement des ressources en devises, la rentabilité de la culture pour le producteur et l'amélioration nutritionnelle des plats traditionnels. Ce développement rapide et important – 15 à 20 % en moyenne par an (AUTISSIER, 1988) – a été, en général, spontané. Les organismes publics et parapublics de développement et de recherche n'ont fait, la plupart du temps, qu'accompagner l'extension auto-organisée des surfaces maraîchères. Il en découle des problèmes liés à cette évolution : techniques de production, mais surtout écoulement de la production, organisation de la profession et gestion des exploitations maraîchères.

Les travaux de recherche appliquée menés par le CIRAD dans cette région l'ont été en Mauritanie et au Niger. Ils ont été complétés par des actions de recherche-développement dans ces mêmes pays. De nombreux résultats obtenus dans la région voisine plus humide, soudano-sahélienne, ont été utilisés dans la zone sahélienne, notamment pour les variétés, la protection des cultures et la fertilisation.

Les plantes maraîchères, dans le Sahel, se répartissent en légumes dits de région tempérée, produits en saison fraîche, essentiellement l'oignon, la tomate, la pomme de terre, le chou cabus et la carotte, d'une part, et en légumes africains, d'autre part, supportant mieux les températures élevées des saisons chaudes, comme le gombo, les aubergines, le piment et certaines cucurbitacées.

Les espèces étudiées ont surtout été celles destinées à la consommation locale, afin de limiter les importations : tomate pour être utilisée sous forme de purée, oignons en bulbes et pomme de terre. Elles rassemblent les travaux les plus importants.

Les facteurs climatiques limitants sont l'eau en saison sèche et fraîche, l'eau et la température en saison sèche et chaude, et la température et l'excès d'humidité en saison chaude et humide. Il existe en outre des facteurs limitants d'origine parasitaire : diverses maladies, ainsi que les nématodes en sols sableux (NETSCHER et LUC, 1974). Cependant, on peut considérer qu'en saison sèche et fraîche les conditions climatiques sont très favorables à la plupart des espèces maraîchères.

Les principales espèces

L'oignon

Les principaux travaux sur cette espèce ont été réalisés entre 1965 et 1976 par NABOS (1976) au Niger. Ils ont permis d'aboutir par sélection récurrente à la

création de trois variétés populations : Violet de Galmi, Blanc de Galmi et Blanc de Soumarana.

Ce programme, réalisé à partir d'écotypes locaux, a conduit à des variétés productives (45 à 55 t/ha en station), de bonne conservation (20 % de pertes en 6 mois) et dont la vernalisation se fait aux températures usuelles de la saison fraîche au Niger. Pour ces variétés, il n'est donc pas nécessaire de faire séjourner les bulbes à des températures basses entre 5 et 10 °C pour obtenir la floraison.

Le succès de ces variétés s'est traduit par un développement de l'une d'entre elles, Violet de Galmi, dans toute l'Afrique en zone sahélienne (Mauritanie, centre-nord du Sénégal, Mali, Cap-Vert) mais aussi en zone soudano-sahélienne (Burkina Faso et Cameroun). D'autres variétés, d'origine américaine, ont montré une bonne adaptation dans cette zone : Early Texas Yellow Grano, Yellow Granex, Red Star, Dessex, White Granex, New Mexico White Grano.

Les techniques culturales sont relativement au point : densité de plantation, fumure, irrigation. Dans chaque localité, les dates de semis et la longueur du cycle doivent être précisées par une expérimentation complémentaire.

Les principaux problèmes sanitaires sont posés par les *Thrips* (*Thrips tabaci*, *Caliothrips impurus*), contre lesquels la lutte chimique semble efficace, et la maladie des racines roses qui apparaît dans certaines zones de monoculture. Les dégâts peuvent en être limités par l'utilisation de variétés résistantes (DE BON, 1983).

Au total, la production d'oignon est maîtrisée dans toute la zone sahélienne, mais elle reste saisonnière (récolte de mars à juin). Les importations sont élevées et s'accroissent en raison de l'urbanisation de la population et de son augmentation.

Les nombreux efforts faits pour organiser la conservation des bulbes (hangars) n'ont pas abouti à un stockage qui puisse éviter les pics de mise en marché et prolonger la période de commercialisation de la production locale.

Outre la conservation, l'étalement de la production a été étudié au Sénégal par la technique des petits bulbes visant à récolter l'oignon de fin décembre à février. Testée depuis dix ans, cette technique présente un transfert en milieu réel assez difficile. En revanche, il semblerait que l'élargissement de la gamme des variétés utilisées puisse aboutir rapidement à des récoltes désaisonnalisées. Ce choix a été fait par les paysans de la région de Saint-Louis au Sénégal située sous un climat plus subcanarien que sahélien, en utilisant les variétés Jaune Hâtif de Valence et Jaune d'Espagne pour récolter entre juin et septembre.

La tomate

Les travaux menés dans la zone sahélienne sur la tomate ont porté sur le tri variétal, les techniques de fertilisation et d'irrigation. Les premiers essais ont été faits entre 1961 et 1963 au Sénégal, puis se sont poursuivis dans tous les pays du Sahel.

La principale saison de production est la saison sèche, particulièrement la saison fraîche, de février à avril. La culture est faite sans tuteurage, sur billons ou planches.

Les variétés retenues dépendent de la destination de la récolte. Roma, Rossol VFN, Rio Grande sont couramment utilisées pour la transformation en purée. Les variétés destinées au marché de frais sont plus nombreuses. De vieilles variétés françaises sont encore utilisées, comme Casaque Rouge, Saint-Pierre et Marmande ; mais des obtentions plus récentes, comme Flora Dade, Calypso ou Hope n° 1 F1, sont aussi développées.

Les variétés obtenues dans les programmes de sélection des zones voisines, Xina à Dakar (climat subcanarien) et Farako-Ba et 8.SCR.15.14.42 à Bobo-Dioulasso (climat soudano-sahélien), ne sont pas encore développées dans le Sahel. Le point faible est la production pendant la saison chaude.

La fructification de la tomate est perturbée quand les températures minimales dépassent 23-24 °C, les amplitudes nycthémérales sont inférieures à 6 °C et l'humidité très forte ou très faible. Les premiers essais ont visé surtout à améliorer les techniques de culture (tuteurage) pendant la saison des pluies. Puis des variétés sont apparues avec une meilleure fructification en saison chaude, soit créées localement (Xina, 8.SCR.15.14.42), soit importées. Dans ce dernier cas, ce sont surtout des hybrides, donc des semences très coûteuses.

Si beaucoup de points de l'itinéraire technique sont connus et souvent bien maîtrisés par les agriculteurs, l'itinéraire technique de la production de plants est peu rigoureux et la protection phytosanitaire mal assurée.

Les problèmes rencontrés pendant la principale saison de culture proviennent d'une chenille de lépidoptères, *Heliothis armigera*, d'un complexe viral marqué surtout par le Tomato Yellow Leaf Curl (TYLC) et de nématodes à galles du genre *Meloidogyne*. *H. armigera* est contrôlé par la lutte chimique ou la lutte biologique avec *Bacillus thuringiensis*. Le contrôle du TYLC, transmis par une aleurode, est lié à la création de variétés résistantes. Un programme est en cours, coordonné par l'INRA à Avignon (France). Les méthodes de contrôle des *Meloidogyne* spp., recommandées actuellement, sont la rotation avec d'autres plantes (*Panicum maximum*, arachide) (PROT, 1980 ; NETSCHER, 1974 ; MANDRET *et al.*, 1989) et la lutte chimique.

Si les conditions climatiques sont très favorables à la production de tomate pendant la saison sèche et fraîche, les besoins en eau et en engrais sont élevés. Cette espèce est donc bien exploitée quand les sols sont fertiles et l'eau aisément disponible, comme dans les périmètres irrigués le long du Sénégal et du Niger. Il n'est pas rare que des parcelles de production paysannes enregistrent des rendements de 60 à 80 t/ha.

Par contre, dans les jardins, cette espèce est peu fréquente et les rendements restent faibles, vu ses exigences. Son développement dans la zone sahélienne passe nécessairement par un choix précis et approfondi des terroirs de production.

La pomme de terre

Dans la zone sahélienne, cette espèce est considérée comme une culture maraîchère, car elle demande beaucoup d'intrants (engrais, matière organique, eau) et est produite en primeur. Cultivée pendant la saison fraîche sur un cycle de trois mois, elle se conserve difficilement aux températures usuelles de la saison chaude.

Les travaux ont jusqu'à présent porté sur les méthodes de culture et le tri variétal. Les ennemis et parasites sont connus (acaréens, nématodes à galles, courtilières) et maîtrisés de façon relativement efficace.

Si les premiers travaux au Niger et au Sénégal avaient mis en évidence la bonne adaptation de la variété Bintje, les obtentions récentes, nombreuses, ont élargi la gamme. La production dispose d'une liste importante de variétés, parmi lesquelles on peut citer Lola, Claustar, Désirée, Concorde, O'Sirène, Sahel (DE BON, 1984).

Les semenceaux lourds et volumineux ont conduit à chercher une multiplication sur place ou à utiliser la technique des vraies semences. Si des résultats avaient été obtenus aisément à Dakar, l'extension de la production de semenceaux dans d'autres régions de basse altitude ne s'est pas faite. La technique de production à partir de vraies graines a été mise au point au CIP (Centre international de la pomme de terre), au Pérou. Le transfert au Sahel n'a pas encore été réalisé, même à titre expérimental.

Cette espèce, très appréciée par la population du Sahel, doit figurer dans toute action sur les cultures maraîchères. Mais ses exigences en éléments fertilisants, en eau et en sol (terres sableuses à sablo-limoneuses) en limitent beaucoup les possibilités d'extension.

Il semble difficile d'accroître sa période de production avant que le CIP n'ait créé des variétés tolérantes à la chaleur. La durée de conservation en conditions naturelles étant courte et le coût du stockage en chambre froide élevé, la production locale ne peut approvisionner le marché que pendant une période réduite de l'année.

Pour l'instant, cette espèce ne peut être raisonnablement développée qu'en tenant compte des limites décrites ci-dessus. Dans tous les cas, une recherche adaptative très localisée est à mener avant tout plan de développement.

Espèces diverses (chou cabus, carotte, aubergine)

Les autres espèces produites dans les systèmes maraîchers sont nombreuses. Leur diversité est accrue par des particularités régionales marquées. Ainsi, le djackathou, aubergine amère (*Solanum aethiopicum*) (DE BON, 1983), est très répandu au Sénégal ; l'ail du pays Dogon ne se retrouve que dans une zone très limitée du Mali.

En saison fraîche, deux autres espèces présentent une bonne fréquence de culture : le chou cabus (*Brassica oleracea* var. *capitata*) et la carotte (*Daucus carotta* L.). La liste des variétés de chou cabus est étendue, des populations anciennes (Acre d'or, Marché de Copenhague) aux hybrides F1 (Alta, K.K. Cross, Africa Cross, Mascotte). Les facteurs limitants de la production sont les insectes (*Plutella maculipennis*, *Hellula undalis*) et les températures élevées. Si la lutte chimique permet de contrôler le développement des ravageurs, l'utilisation des hybrides F1 doit permettre la culture de cette espèce en saison chaude et humide si les températures ne sont pas trop excessives.

Les variétés de carotte utilisées sont des anciennes populations d'origine française (Chantenay, Nantaise demi-longue), ou plus récentes, comme Kuroda, originaire du Japon. Produite essentiellement pendant la saison fraîche, favorable à la tubérisation, la culture, se développant sur des sols sableux à limoneux, se heurte fréquemment à des infestations importantes de nématodes à galles du genre *Meloidogyne*. Les solutions acquises sont la rotation avec des espèces ne les favorisant pas et l'emploi de nématicides.

Pendant la saison chaude, les espèces produites sont différentes : gombo, bissap (*Hibiscus sabdariffa*), cucurbitacées, aubergine. La bonne adaptation au climat et à la pluviométrie conduisent les producteurs à les cultiver en système extensif avec des intrants faibles. L'intensification, caractéristique du système maraîcher, disparaît généralement pendant cette saison.

Des recherches sur la production de saison chaude

Les cultures maraîchères regroupant plusieurs espèces, il nous est apparu nécessaire de rassembler les acquis suivant les deux systèmes de production usuellement rencontrés : le jardin et la culture commerciale.

Jardin maraîcher

Ce système de culture est le domaine privilégié de nombreux organismes d'aide (ONG notamment). Qu'il soit individuel ou collectif, il est, en général, développé dans des villages ou des villes de petite et moyenne importance. Les possibilités de commercialiser la récolte sont alors limitées à la fois par le faible niveau de vie et le faible effectif de la population concernée par le(s) jardin(s). Les itinéraires techniques des très nombreuses cultures qui y sont pratiquées sont connus. Ayant surtout un rôle social, ce système maraîcher ne visera pas à atteindre une grande productivité. Les rendements sont limités, à cause du faible niveau des intrants (engrais, pesticides, semences, eau), mais suffisent largement pour satisfaire le maraîcher.

Production commerciale

Elle peut être destinée à plusieurs marchés : la grande ville, qui est éloignée dans le Sahel, la transformation (tomate pour la purée, piment séché) et l'exportation (melon, haricot vert, tomate cerise, piment). Dans ces cas, les producteurs maîtrisent les itinéraires techniques d'une ou plusieurs espèces. Quel que soit le marché, ils visent à obtenir les plus hauts rendements avec la qualité nécessaire. Pour ces cultures, les résultats cités précédemment sont trop généraux et souvent insuffisamment précis. Des travaux de recherche d'accompagnement sont alors nécessaires. Ils constituent la plus grande partie du travail que doivent réaliser les chercheurs du CIRAD. Mais, pour répondre aux préoccupations de l'agriculteur, la connaissance préalable des itinéraires techniques détaillés est une nécessité impérative.

Production de saison chaude

La production maraîchère diminue fortement en pleine saison chaude sèche et est quasi inexistante pendant la saison chaude humide. Nous avons vu que les trois principales espèces étaient surtout produites en saison fraîche et que, pendant la saison chaude et humide, les espèces étaient produites de façon extensive. Cela se traduit par un déficit important de la production maraîchère. Les premiers résultats acquis pour combler cette lacune ont été obtenus sur la tomate. Un énorme travail reste à faire sur toutes les espèces qui peuvent être l'objet de recherches approfondies à long terme (adaptation aux hautes températures et à des humidités excessives).

Bibliographie

- AUTISSIER V., 1988. Présentation du projet d'étude-animation sur les cultures maraîchères et synthèse des premières missions réalisées. Paris, GRET.
- DALY P., 1988. Les cultures légumières. *Agritrop*, 1 (12) : 109-117.
- DE BON H., 1983. Expérimentation sur les cultures maraîchères en Mauritanie. *L'Agron. Trop.*, 38 (1) : 56-77.
- DE BON H., 1984. La culture de la pomme de terre dans la moyenne vallée du Sénégal. *L'Agron. Trop.*, 39 (4), 358-366.
- MANDRET G., ROBERGE G., OURRY A., 1989. Le *Panicum maximum* dans l'association maraîchage-élevage au Sénégal. In : XVI^e Congrès international des herbages, Nice (France), 4-11 octobre 1989. Association française pour la production fourragère, tome II, p. 1325-1326.
- NABOS J., 1976. L'amélioration de l'oignon au Niger. *L'Agron. Trop.*, 31 (4) : 387-397.
- NETSCHER C., 1974. L'arachide et le contrôle biologique des nématodes *Meloidogyne* spp. dans les cultures maraîchères du Sénégal. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 60 : 1332-1339.
- NETSCHER C., LUC M., 1974. Nématodes associés aux cultures maraîchères en Mauritanie. *L'Agron. Trop.*, 29 : 697-701.
- PROT J.C., 1980. Les nématodes parasites des cultures maraîchères. Dakar, ORSTOM, USAID, 28 p.

La foresterie

Jean-Pierre Goudet
CIRAD-Forêt

Table des matières

La foresterie rurale	117
L'arbre dans les systèmes de production	117
Les systèmes pastoraux	117
Les systèmes agraires (agroforesterie)	118
L'arbre et la production ligneuse	120
Les produits non ligneux	122
L'arbre et l'environnement	122
Les voies de la recherche	123
Sélection et amélioration du matériel végétal	123
Symbiotes	125
Technologie	126

Nous limiterons le bilan des acquis en matière de foresterie essentiellement à la zone sahélienne proprement dite, jusqu'à l'isohyète moyenne 600 mm, ce qui correspond à la zone pastorale de transhumance, où l'essentiel de l'espace est dévolu à l'élevage et où les cultures sont localisées en fonction des sols et des disponibilités en eau.

On complètera ce bilan par des données relatives à la zone agricole nord-soudanienne (isohyètes 600 à 800 mm), qui participe au cycle de transhumance en saison sèche.

Compte tenu d'un déficit de saturation moyen élevé (avec des valeurs excessives certains mois de la saison sèche) et des températures présentant de grandes amplitudes, avec des maximums très élevés, la combinaison des paramètres du climat se traduit par des valeurs très élevées de l'évapotranspiration. Cela constitue la contrainte majeure pour la végétation ligneuse à caractère pérenne. Néanmoins, cette contrainte est atténuée dans le cas de bioclimats côtiers dont l'humidité atmosphérique compense le déficit hydrique (la côte sénégalaise par exemple).

Il faut rappeler que la spécificité des zones sèches au sud du Sahara, en comparaison avec les zones sèches méditerranéennes et les zones arides d'Amérique centrale, est due aux rythmes saisonniers différents, ainsi qu'aux données se rapportant au déficit hydrique ou à l'évaporation. Cela représente un facteur important dans les essais d'introduction d'espèces résistantes à la sécheresse.

La foresterie rurale

Depuis de nombreuses années, devant la dégradation accélérée des formations naturelles (déficits pluviométriques, pâturage incontrôlé, surexploitation ligneuse), les responsables concernés ont pris conscience de l'importance à accorder à la protection et régénération de ces formations ligneuses naturelles sur la base d'une gestion du terroir dans son ensemble. Les ruraux doivent devenir les gestionnaires de la totalité de leur terroir, y compris les formations ligneuses, en s'appuyant sur la notion d'arbre à usages multiples (outre le bois énergie : affouragement, cueillette de fruits, feuilles, écorces, fertilisation, bornage...).

La priorité est ainsi accordée à la foresterie rurale, qui s'intègre parfaitement aux autres activités paysannes telles que l'élevage et la production agricole. Parallèlement, en zone sahélienne principalement, la plantation d'arbres ne doit concerner que des actions avec objectifs bien ciblés, en situation exceptionnelle et complémentarément à la gestion des formations naturelles. Même en zone périurbaine, où les besoins en bois énergie sont importants, il est exclu de développer des plantations ligneuses de grande surface en régie. C'est vers le bois culture de rente en milieu rural et surtout l'aménagement des peuplements ligneux (forêts communales) que l'on doit s'orienter.

L'évolution des projets se fait vers une approche intégrée, avec une bonne complémentarité entre agronomes, éleveurs et forestiers.

L'arbre dans les systèmes de production

Les systèmes pastoraux

L'apport de matière azotée par les arbustes fourragers en fin de saison sèche constitue un facteur essentiel de l'équilibre des rations alimentaires, du bétail bovin en particulier. Les actions de recherche menées antérieurement, notamment au

Sénégal (Ferlo), au Burkina Faso (mare d'Oursi) et plus récemment au Mali concernent :

- la place et l'importance respectives des espèces ligneuses et herbacées dans les écosystèmes pâturés sahéliens ;
- l'effet de la mise en défens et les possibilités de régénération des ressources fourragères sahéliennes, les conditions d'utilisation des ligneux sahéliens par les herbivores domestiques ;
- le suivi des formations végétales : la télédétection est devenue un outil particulièrement efficace pour la connaissance de l'état de la ressource naturelle ; l'analyse informatique des images du satellite Spot, au Mali par exemple, a permis d'optimiser les méthodes d'interprétation ; les opérations d'inventaire avec les programmes de sondage en sont grandement facilitées.

Il faut reconnaître que, devant l'ampleur de la dégradation des pâturages "aériens" en certaines zones, suite aux déficits pluviométriques des dernières décennies, les actions ne peuvent être que limitées et ponctuelles, le problème essentiel étant l'adaptation des troupeaux au "disponible" fourrager, notion bien théorique qui suppose parfois une réduction du nombre de têtes de bétail.

On doit rappeler toutefois la remarquable capacité de régénération des espèces ligneuses lorsque les conditions climatiques s'améliorent (exemple de régénération d'*Acacia senegal* en Mauritanie).

Pour la mise à disposition de l'éleveur de peuplements d'arbres et arbustes fourragers dans l'environnement des forages et des villages, on a étudié les espèces les plus productives en biomasse fourragère (essentiellement les acacias locaux : *A. senegal*, *A. raddiana*, *A. nilotica adansonii*). Dans les périmètres irrigués, la production intensive de fourrages aériens peut en outre faire intervenir des acacias australiens, *Prosopis* sp. et *Leucaena leucophala*.

Les systèmes agraires (agroforesterie)

■ Un développement insuffisant de l'association arbre-culture

Nous intégrons ici la zone nord-soudanienne (pluviométrie de 600 à 800 mm).

L'arbre intervient dans les systèmes agraires sous diverses formes.

Pour ce qui est de la jachère arborée, les pays de la zone concernée sont en train de vivre une mutation fondamentale qui pose de manière nouvelle le rapport des sociétés avec l'espace : "*Pendant des siècles, vu la faible population du Sahel, l'espace n'a pas manqué et le système des cultures sur jachères arborées de longue durée, grand consommateur d'espace, a pu fonctionner normalement. Aujourd'hui l'espace demeure abondant, mais il ne l'est plus partout. C'est que la population du Sahel est loin d'être concentrée sur les terres les plus fertiles et les mieux arrosées.*" *

Les paysages à parc sont des associations arbre-culture avec dissémination des arbres dans le champ. Le plus bel exemple est le parc à *Faidherbia albida*. Rappelons d'autres systèmes traditionnels en zone soudanienne avec *Cordyla pinnata*, *Parkia biglobosa*, *Borassus aethiopicum*, *Vitellaria paradoxa*, etc.

Dans les bandes boisées, l'arbre n'est plus disséminé mais réparti en lignes boisées ou haies vives, pour former des paysages bocagés.

La transformation et l'intensification des systèmes agraires a abouti souvent à une réduction et même à une disparition de l'arbre dans toutes ses formes

* GIRI J., 1983. Le Sahel demain, catastrophe ou renaissance. Paris, Karthala.

d'implantation. Cela peut se justifier si les techniques intensives sont effectivement appliquées ; malheureusement, souvent cela n'a pas été le cas et l'influence bénéfique de l'association arbre-culture n'a pas toujours été compensée après élimination des arbres dans de nombreux programmes de développement de la culture arachidière ou cotonnière, par exemple.

On a donc insuffisamment développé ou adapté les associations arbre-culture qui existaient dans différents systèmes traditionnels.

L'intégration réelle de l'arbre dans l'agriculture a été négligée en zone tropicale sèche. On a néanmoins développé depuis plusieurs années les études d'aménagement agricole arboré. Les actions, dans les zones nombreuses où le paysan est traditionnellement favorable à certains arbres associés aux cultures, consistent à encourager la protection et la régénération de ces espèces arborées.

■ La divagation du bétail

Les conditions de la régénération des espèces citées sont suffisamment connues, en particulier pour *Faidherbia albida* ; le problème essentiel à résoudre reste la protection des jeunes plants pendant quelques années, notamment contre le bétail.

Il faut rappeler le caractère particulièrement nocif du système d'élevage basé sur la divagation des animaux ; il rend très aléatoires toutes les actions liées au développement de l'arbre, que son caractère pérenne expose à la dent des animaux, spécialement en saison sèche, époque où la survie des végétaux ligneux est la plus problématique.

La maîtrise et l'arrêt de la divagation des animaux (avec l'évolution des systèmes de production) sont une étape prioritaire dans l'intégration de l'arbre aux systèmes de culture. Mais à quelle échéance est-ce réalisable et avec quelles conséquences sur les systèmes d'élevage ?

Des essais en station d'association arbres-cultures sont en cours au Sénégal, au Burkina Faso, au Nord-Cameroun. Ils concernent *Faidherbia albida*, *Acacia senegal*, *A. nilotica*, *A. raddiana*, *Prosopis* sp.

■ L'érosion

Pour les types d'association arbre-culture, il apparaît que la lutte contre l'érosion éolienne en culture pluviale devrait plutôt être basée sur le maintien d'une certaine densité d'arbres sur l'ensemble du champ (paysage à parc préférable aux bandes boisées). Mais les arbres disséminés peuvent gêner les interventions mécanisées, surtout en cas de motorisation (rare) et à un degré moindre en culture attelée. Cet inconvénient est diminué avec des espèces à racines pivotantes telles que l'*Acacia albida*. La culture attelée est un des éléments qui limitent la régénération des parcs arborés vieillissants ; elle exige un effort supplémentaire en matière de protection des jeunes plants.

Les phénomènes d'érosion pluviale sont souvent liés au raccourcissement des jachères. Les sols de culture totalement dénudés lors de l'arrivée des premières pluies (qui sont extrêmement érosives) subissent des pertes en terre souvent considérables. De nombreuses études menées notamment au Niger et au Burkina Faso ont montré que ces pertes pouvaient atteindre aisément 10 tonnes par hectare et par an et ce sur des terrains en pente très faible de l'ordre de 1 % (plateau mossi), et uniquement du fait de l'érosion en nappe.

Or, des moyens simples à mettre en œuvre par les paysans existent en matière de conservation des eaux et du sol. Des actions en ce sens se poursuivent, en particulier au Burkina Faso ; mais ce type d'action est encore trop peu développé dans les projets agricoles de mise en valeur de zones très sensibles à l'érosion en zone sèche.

Il reste néanmoins à améliorer les connaissances sur les types de dispositifs antiérosifs à mettre en place en fonction des catégories de sol et de la topographie.

Les recherches à poursuivre sur l'arbre dans l'aménagement de l'espace rural concernent les haies vives, les plantations ligneuses linéaires, les bandes boisées, les brise-vent.

L'arbre et la production ligneuse

Nous considérons ici essentiellement le bois énergie (bois de feu, charbon de bois) et le bois de service (perches, piquets, poteaux).

Les ressources actuelles en produits ligneux proviennent en totalité des formations naturelles. On y pratique une exploitation de type cueillette.

Les situations de pénurie, bien que concernant la majorité des pays sahéliens, sont particulièrement importantes dans les zones à fortes concentrations urbaines où le bois est l'objet d'un commerce intense et fructueux.

Le problème de la dégradation des formations ligneuses et de leur surexploitation est directement lié au développement des grandes zones urbaines. Les besoins correspondants sont tels que la surexploitation aboutit à une dégradation irréversible des formations ligneuses.

Les besoins en milieu rural participent aussi à la surexploitation du matériel ligneux disponible, mais pris isolément ces besoins pourraient être adaptés sans trop de difficultés à une exploitation rationnelle du potentiel ligneux dans le cadre de forêts communales.

■ Les formations ligneuses naturelles

□ Développer l'aménagement des formations naturelles

Dans les formations de zone sèche, l'hétérogénéité des peuplements et l'architecture complexe des arbres et arbustes ont rendu nécessaires des mises au point pour les estimations de croissance et productivité. Un mode opératoire spécifique pour les mesures dendrométriques a été élaboré dans le cadre d'une étude menée au Niger (forêt de Faïra près de Niamey). C'est un outil généralisable dans ce type de végétation naturelle.

Nous avons évoqué précédemment l'utilisation actuelle de la télédétection pour la connaissance de l'état de la ressource naturelle et de son évolution. Concernant sa croissance, un certain nombre d'actions ponctuelles réalisées depuis une trentaine d'années (Tchad, Cameroun, RCA, Niger, Burkina Faso, Mali, Sénégal), qui malheureusement n'ont pas duré assez longtemps, permettent actuellement d'avoir des données approximatives (à améliorer) sur la productivité des formations ligneuses climatiques, soit :

- 0,05 à 0,1 m³/ha/an pour les savanes et steppes buissonnantes du domaine sahélo-saharien (pluviométrie < 300 mm) ;
- 0,1 à 0,5 m³/ha/an pour le domaine sahélo-soudanien (pluviométrie comprise entre 300 et 600 mm) ;
- 0,5 à 1 m³/ha/an pour le domaine nord-soudanien (600 à 800 mm de pluviométrie).

Ces chiffres concernent des formations non dégradées.

Des méthodes d'aménagement simples permettent d'améliorer la production des formations naturelles tout en assurant leur pérennité : il s'agit essentiellement du traitement en taillis simple, à révolution de 12 à 20 ans selon les formations, avec l'objectif de la production de bois énergie. Les formations ligneuses des

domaines sahélien et soudanien réagissent parfaitement à ce traitement (mais de moins en moins bien lorsqu'elles sont dégradées). On est amené à les protéger temporairement et intégralement contre les feux deux ou trois ans après l'exploitation du taillis pour obtenir une bonne croissance initiale des rejets. Ultérieurement, on a recours au feu précoce. Parallèlement, une rotation du pâturage permet la régénération des parcelles exploitées.

Il faut reconnaître que, jusqu'à une époque récente, les actions de développement ont trop négligé les formations naturelles et leur aménagement en privilégiant les opérations de plantation ; dans le domaine sahélien ces dernières sont à réserver aux zones les plus favorables sous forme de culture individuelle avec un suivi rigoureux. L'aménagement des formations ligneuses naturelles doit être à la base des actions menées en milieu rural : la foresterie rurale est actuellement encore trop axée sur la distribution de plants et les reboisements.

□ La télédétection

Le besoin de connaître assez rapidement la localisation et l'étendue des superficies couvertes de ligneux, le suivi du développement de cette végétation nécessitent une technique qui permette d'obtenir une large vision cartographique de l'espace.

La télédétection est actuellement la seule praticable à l'échelle des milieux sahéliens.

Les méthodes visuelles d'analyse des données satellitaires sont fréquemment utilisées (cas du Projet Mali). Néanmoins, pour des études d'évolution, pour la production de cartes statistiques ou simplement pour l'obtention d'images améliorées, les techniques numériques sont plus appropriées. Les différents projets réalisés au Laboratoire de télédétection IEMVT-CTFT, équipé d'un système de traitement d'images Péricolor 2001, permettent d'apprécier l'incontestable contribution que la télédétection apporte à l'étude des ressources naturelles en zones sahéliennes et nord-soudaniennes.

■ Les plantations ligneuses

Les plantations en zones sahélienne et nord-soudanienne ne sont envisageables que comme un complément de l'utilisation des formations naturelles ou dans le cadre du développement de l'arbre dans les systèmes de production agricoles ou d'élevage. Elles concernent les espèces productrices de bois de service et surtout les espèces à usages multiples en foresterie rurale.

Les expérimentations menées depuis une trentaine d'années ont permis de définir les espèces en fonction des objectifs d'utilisation : produits ligneux ou non ligneux. Il ne faut pas envisager la possibilité de découverte d'"espèces miracles" en zone sahélienne. Dans le choix des espèces, de nombreux malentendus subsistent du fait que l'on définit mal les objectifs de production et que l'on utilise parfois celles-ci en zone marginale par rapport à leurs conditions agroécologiques optimales.

En revanche, les performances de certaines espèces peuvent être accrues par l'amélioration génétique et l'utilisation des symbiotes (voir ci-après). L'étude de la physiologie de résistance à la sécheresse est abordée actuellement sur un plan plus fondamental.

Les techniques de production de plants sont au point pour la plupart des espèces. La création et la gestion des pépinières sont bien maîtrisées y compris en milieu villageois, dans les pays où ont été développées des opérations de foresterie rurale.

Au Sahel, les contraintes climatiques excluent la réalisation de programmes de plantations "en sec" d'envergure, en régie, qui ne peuvent être envisagés qu'en zone soudano-guinéenne (pluviométrie annuelle supérieure à 900 mm).

Nous verrons plus loin les limites des plantations irriguées. La satisfaction des besoins énergétiques des grandes agglomérations dans la zone considérée ne peut être résolue uniquement par des solutions "forestières" (nécessité d'énergies de substitution au bois énergie). Par ailleurs, le prix de revient du bois énergie issu de plantations en régie n'est pas compatible avec la rémunération actuelle très faible du bois récolté dans les formations naturelles.

■ Plantations ligneuses irriguées

La réalisation des grands projets hydro-agricoles (Sénégal, Mali, Niger) doit permettre d'envisager des actions économiquement valables dans la mesure où :

- les plantations ligneuses peuvent profiter d'infrastructures, en utilisant en particulier certaines zones délaissées dans les périmètres hydro-agricoles (ligniculture intensive) ou en intégrant l'arbre dans les aménagements agricoles (brise-vent) ;
- si en zone tropicale sèche on s'interroge sur les effets réels des brise-vent en culture pluviale (influence agro-climatique au-delà de la lutte contre l'érosion éolienne), les données disponibles en périmètres irrigués permettent de définir un effet très positif sur certaines productions (vergers, cultures maraîchères).

Les produits non ligneux

On ne tient jamais assez compte du rôle encore très important de l'arbre dans l'alimentation humaine, la pharmacopée et les usages divers.

Parmi les espèces les plus importantes, citons : *Parkia biglobosa*, le néré, *Vitellaria paradoxa*, le karité, *Adansonia digitata*, le baobab, *Cordyla pinnata*, dimb, *Lannea acida*, *Detarium senegalense*, *D. microcarpum*, *Balanites aegyptiaca*, *Tamarindus indica*, *Lannea acida*, *Lannea microcarpa*, etc. Certaines de ces espèces assurent la majeure partie des apports en vitamines des populations rurales pendant la saison sèche.

Malgré la concurrence de nouveaux produits agricoles, ces espèces gardent tout leur intérêt et les plants de certaines d'entre elles sont très demandés en foresterie rurale.

Il faut rappeler l'influence particulièrement néfaste des phénomènes de sécheresse sur les peuplements naturels de gommiers et la diminution considérable de la production de gomme arabique (*Acacia senegal* et *Acacia laeta*).

Le mode actuel d'exploitation des peuplements en Afrique de l'Ouest et centrale correspond à une cueillette à caractère extensif avec ou sans saignée. La protection des peuplements naturels en vue d'une exploitation rationnelle de la gomme arabique est donc à poursuivre. Mais la relance de la production de gomme arabique, en différents pays où les peuplements naturels ont été très touchés par la sécheresse, suppose le développement en zone plus favorable de plantations intensives d'*Acacia senegal* à partir d'un matériel végétal sélectionné.

L'arbre et l'environnement

De nombreuses plantations n'ont pas, en fait, un objectif de production ou d'aide à l'élevage ou à l'agriculture ; ce sont des plantations réalisées pour créer une ambiance favorable à la vie des hommes : plantations dans les villes, marchés ombragés, plantations d'alignement le long des rues, ceintures vertes autour de grands centres. Pour de telles réalisations, le caractère économique n'intervient

pas, seul compte l'intérêt social. De nombreuses actions, même quelquefois d'envergure, ont été réalisées et se poursuivent.

Il suffit d'observer, en une trentaine d'années, en zone sèche, les conditions de développement du neem (magnifique arbre d'ombrage) dans certaines zones rurales ou en milieu urbain pour constater la réussite de quelques-unes de ces actions, y compris certaines opérations d'envergure comme les ceintures vertes autour des grandes agglomérations.

Dans la lutte contre l'avancée des sables et pour la fixation des dunes, leur stabilisation peut être assurée grâce à la restauration ou à la mise en place d'une végétation. Ces problèmes peuvent se poser dans l'aménagement de périmètres agricoles à protéger (dépressions interdunaires cultivées). Une simple mise en défens contre le bétail peut parfois provoquer, même dans le domaine sahélien, un démarrage spectaculaire d'une végétation herbacée et arbustive.

Rappelons la réussite remarquable des plantations de filao (*Casuarina equisetifolia*) pour la fixation des dunes maritimes, par exemple sur la côte sénégalaise.

En Mauritanie, *Prosopis juliflora* a donné des résultats excellents sur sol dunaire en zone continentale, après la mise au point d'une technique de plantation.

Les voies de la recherche

Sélection et amélioration du matériel végétal

Dans le cas des espèces régénérées naturellement dans les parcs agroforestiers ou les formations naturelles, une sélection des semenciers pendant des générations successives est susceptible d'induire une lente amélioration génétique des peuplements aménagés. Rappelons cependant que les actions plus intensives de sélection et d'amélioration ne s'appliquent qu'aux espèces utilisées en plantations.

La sélection pour un objectif donné comprend trois niveaux successifs d'intensité croissante :

- spécifique : sélection des espèces utilisables en plantations pour l'objectif concerné ;
- intraspécifique : sélection des meilleures populations (provenances) des espèces utilisées ; ce niveau est important pour de nombreuses espèces dont la variabilité naturelle est grande ;
- individuel : actions d'amélioration au sens strict.

■ Plantations pour la production de bois

La production de bois de feu et de service est un des principaux objectifs des plantations forestières. De très nombreuses espèces locales et exotiques ont été testées, dont une centaine d'espèces d'eucalyptus. *Eucalyptus camaldulensis* et, dans une moindre mesure, *E. microtheca* sont les espèces les plus aptes. Leur utilisation dans des grandes plantations en régie est cependant à proscrire ; les échecs des grands projets des années 70 l'ont montré.

E. camaldulensis reste cependant l'espèce la plus plantée dans les pays sahéliens, en petites parcelles individuelles ou villageoises ou dans le cadre d'aménagements de terroirs, où il a des fonctions multiples. Ces plantations bénéficient des travaux déjà réalisés en sélection de provenances (utilisation de graines issues de parcelles semencières de bonnes provenances : Gilbert River, Katherine, Petford) et en sélection individuelle (mise en place de vergers à graines de clones qui commencent à produire des graines améliorées).

Sont actuellement explorées par la recherche les possibilités de développement clonal (en fonction des gains escomptés) et les améliorations que pourraient apporter des hybridations dirigées.

■ Fixation de dunes littorales

Casuarina equisetifolia et, plus récemment, *Prosopis juliflora* ont démontré leur très bonne aptitude dans ce domaine. La sélection pour cet objectif s'est limitée jusqu'à présent au niveau spécifique, les résultats obtenus donnant satisfaction. Il faut cependant noter les améliorations importantes qui ont résulté des études sur les systèmes symbiotiques dans le cas de *C. equisetifolia*.

■ Espèces à usages multiples

Ces espèces sont utilisées en foresterie rurale. Elles ont des fonctions de production (bois, fourrage et autres), de protection et d'amélioration de l'environnement.

□ Espèces exotiques

Certaines espèces exotiques bien adaptées ont connu une grande diffusion à partir d'une base génétique inconnue et sans doute très étroite. C'est le cas d'*Azadirachta indica* (le neem) et de *Prosopis juliflora*. Les "provenances locales" de ces espèces sont bien adaptées et donnent satisfaction. Il faudrait cependant évaluer les aptitudes d'autres origines des aires naturelles de ces espèces, en Asie pour le neem et en Amérique pour le prosopis, afin d'exploiter les éventuelles possibilités d'amélioration.

□ Acacias africains de zones sèches

(*A. senegal*, *A. raddiana*, *A. nilotica*, *Faidherbia albida*)

La dégradation des formations naturelles et l'inadaptation de certaines espèces exotiques essayées jusqu'à présent font de plus en plus envisager la plantation de ces espèces soit pour restaurer des peuplements anciens, soit pour les installer dans des régions nouvelles (création de parcs à *Faidherbia albida* dans certaines régions du Nord-Cameroun).

Afin de rentabiliser ces efforts, le matériel végétal utilisé doit être le mieux adapté et le plus performant possible. Des travaux de prospection et d'évaluation de la variabilité intraspécifique sont déjà bien engagés, notamment pour *Faidherbia albida* et *Acacia senegal* (plus de 40 provenances récoltées en Afrique de l'Ouest et du Centre). Des essais d'évaluation sont mis en place dans un réseau multilocal.

Pour *A. senegal*, dont le critère de sélection principal est la production de gomme, des sélections individuelles ont été réalisées et la multiplication végétative a été mise au point pour la sélection et la propagation de clones performants.

□ Autres acacias et prosopis exotiques

Prosopis cineraria ainsi que des sous-espèces et des provenances asiatiques (Inde, Pakistan) d'*Acacia nilotica* et *A. senegal* introduits récemment se sont montrés inadaptés ou beaucoup moins performants que les provenances locales.

De très nombreuses espèces d'acacia d'Australie ont également été essayées. Seuls *A. trachycarpa* et *A. holosericea* présentent un intérêt par leur forte croissance en milieu favorable. Ces espèces qui produisent rapidement du bois sont intéressantes pour coloniser le terrain mais elles sont peu longévives et d'autres espèces doivent être prévues en relais.

Symbiotes

L'inoculation des arbres par des souches de micro-organismes symbiotiques appropriées apparaît très souvent comme une nécessité, aussi bien pour les essences introduites que pour les essences indigènes susceptibles d'être infestées par des souches locales, mais dont l'efficacité n'est pas toujours optimale.

Les travaux menés au laboratoire du BSSFT (Biotechnologie des systèmes symbiotiques forestiers tropicaux), depuis sa création fin 1985, ont déjà permis la mise au point de techniques originales dans ce domaine, qui font l'objet d'applications sur le terrain. A noter que ces applications sont possibles dans des zones très diverses étant donné que les recherches ont pris en compte à la fois l'essence hôte et les micro-organismes symbiotiques et que les expérimentations de terrain ont été effectuées dans des conditions très variées.

Les sélections effectuées sur les micro-organismes d'une part et sur la plante hôte en fonction de son adaptation aux conditions locales, de la nodulation et de son potentiel fixateur d'azote, faisant appel en particulier aux techniques de micropropagation, d'autre part, ont ainsi permis de caractériser et de multiplier des clones particulièrement performants au point de vue de la croissance, de la forme..., bien adaptés à certaines conditions de sol et de climat et fortement fixateurs d'azote.

Ont pu déjà être développées certaines des méthodes mises au point comme la solarisation, qui est un préalable nécessaire à l'installation des symbioses et qui permet une bonne stérilisation du sol au moindre coût dans d'assez nombreux cas (elle assure en particulier l'élimination des nématodes), et comme l'inoculation des jeunes plantules en pépinière, par des micro-organismes fixateurs d'azote et mycorhiziens, dans les zones où cela s'avère nécessaires, ce qui est souvent le cas en zone tropicale sèche.

L'utilisation de ces techniques présente les avantages suivants :

- éliminer les pathogènes du sol en pépinière ;
- permettre une meilleure reprise des plants ;
- favoriser la croissance ;
- assurer une bonne homogénéité à la plantation, d'où des mesures sylvicoles plus faciles à réaliser et d'un coût plus modéré ;
- permettre une agriculture alternative ;
- maintenir ou restaurer la fertilité des sols dégradés ;
- éviter ou atténuer les phénomènes de pollution en utilisant moins d'engrais ou de pesticides ;
- envisager une moindre utilisation des engrais azotés très coûteux.

Ces techniques peuvent être mises en œuvre pour la réalisation de plantations en plein (avec acacias de zone sèche, *Prosopis* spp., *Casuarina* spp.), de plantations en couloir (avec *Faidherbia albida*, *Acacia senegal*, *Prosopis* spp.), de brise-vent, et pour la fixation de dunes (avec *Casuarina equisetifolia*, *Allocauarina verticillata*...), d'engrais vert (avec *Sesbania rostrata*, *Aeschynomene*), de fourrages arborés.

Des recherches sont actuellement en cours pour :

- améliorer et simplifier les techniques d'inoculations (enrobage des graines...) ;
- sélectionner des souches de micro-organismes adaptées à des contraintes particulièrement sévères (salinité, acidité, toxicité aluminique...) ;
- optimiser l'action bénéfique de la symbiose en exploitant les phénomènes d'association ou d'antagonisme avec d'autres micro-organismes ;
- amplifier la variabilité génétique des plantes hôtes (protoplastes et fusion somatique, transfert de gènes...) ;
- améliorer les techniques de propagation des essences fixatrices d'azote, en particulier de *Faidherbia albida*, *Acacia senegal* et *Prosopis juliflora*.

Technologie

Les produits ligneux en zone sèche concernent essentiellement le bois énergie, le bois de service (poteaux, piquets, perches) et secondairement l'utilisation d'espèces de bois d'œuvre sur le plan artisanal.

Le charbon de bois est un combustible prépondérant dans les grandes agglomérations. L'utilisation de fours de carbonisation adaptés a permis d'augmenter le rendement de la production de charbon de bois jusqu'à 25 % alors qu'il ne dépasse pas 10 % avec les meules traditionnelles. Les cycles sont plus courts et la qualité du charbon meilleure. Le département forêt du CIRAD anime une base de carbonisation où sont testés différents types de fours artisanaux et meules améliorés.

Pour le bois de service, il est primordial d'augmenter sa résistance aux attaques biologiques par des traitements de préservation appropriés, mais ne faisant pas appel à des techniques coûteuses. Le CIRAD-Forêt a mis au point un autoclave simplifié utilisable à petite échelle.

Par ailleurs, les produits chimiques de préservation représentent une charge financière peu compatible avec les économies des pays concernés. L'emploi de sous-produits de carbonisation devrait apporter une solution intéressante.

Pour les bois d'œuvre utilisés en artisanat, il faut apporter un appui aux artisans par un élargissement de la gamme des espèces utilisées, en améliorant la connaissance des bois disponibles en zone de savane.

Les productions animales

**Contribution
CIRAD-EMVT**

**Participants : Gabriel Boudet, Daniel Bourzat,
Pierre Chicoteau, Hubert Guerin, Philippe Lhoste,
Gilles Mandret, Pierre Morel,
Bernard Peyre de Fabrègues, Gilles Saint-Martin,
Georges Tacher, Gerrit Uilenberg**

Coordination : André Gaston

Table des matières

L'alimentation animale	132
Innovations de la recherche en matière d'alimentation des ruminants	132
Les recherches avant 1980	132
Les innovations (1980-1990)	134
Recommandations	136
Quelques éléments sur l'embouche	137
L'embouche paysanne	138
L'embouche industrielle	139
L'association maraîchage-élevage au Sénégal :	
production de foin et lutte contre les nématodes	140
L'aspect agronomique	140
L'aspect économique	142
Deux cultures complémentaires	143
Techniques testées et pré vulgarisées pour la production	
de petits ruminants en zones semi-arides	144
Plan de prophylaxie	144
Amélioration de l'alimentation	144
Santé animale et reproduction	146
Maladies parasitaires et traitements antiparasitaires	146
Les helminthoses	146
Les tiques et maladies associées	147
Innovations en matière de pathologie infectieuse	148
Innovations en matière de reproduction bovine	149
Le suivi de reproduction	149
L'insémination artificielle	149
Le transfert d'embryons	150
L'utilisation des espaces pastoraux	151
Gestion des ressources pastorales	151
Préciser la vocation de chaque terroir	151
Hiérarchiser les priorités	152
Réorganiser le cadre institutionnel	152
Associations pastorales	152
La nécessité de responsabiliser l'éleveur	153
Les difficultés de réalisation	154
Une nouvelle approche de l'élevage camelin	155
Le dromadaire : un oublié des circuits de développement	155
Un regain d'intérêt	155
La place du dromadaire dans la production	157
Quatre innovations pour l'élevage camelin	157
Bibliographie	159

Les propositions d'innovations du département élevage et médecine vétérinaire du CIRAD concernent aussi bien la recherche thématique que les systèmes de production.

En recherche thématique, des innovations sont disponibles en productions animales, dans le domaine des ressources alimentaires et des ressources animales.

Ces innovations portent sur les bilans fourragers, les synthèses sur la composition minérale des fourrages, les choix alimentaires et/ou la complémentarité des espèces animales exploitant les parcours naturels, les effets de la complémentarité azotée. Elles ont trait également aux cultures fourragères et à l'embouche, domaines importants en milieu périurbain et en association agriculture-élevage.

Le thème de la santé animale, outre la prophylaxie (maladies virales, bactériennes, parasitaires), a donné lieu à des innovations en matière d'application en milieu difficile par la mise au point de kits. Les problèmes de santé animale sont également abordés par thèmes : dromadaire, petits ruminants.

Quant aux systèmes de production, des réflexions approfondies ont été conduites sur les systèmes pastoraux, leur gestion, leur adaptation, surtout en période de bouleversements économiques et climatiques. Cette gestion est la clé de voûte qui assure la pérennité des élevages extensifs.

Bien entendu, les exposés qui suivent sont simplement destinés à l'illustration des thèmes. Pour une information plus complète, on se reportera aux références bibliographiques.

Les contributions des chercheurs du CIRAD-EMVT sont présentées selon le plan suivant :

- L'alimentation animale.
 - Innovations de la recherche en matière d'alimentation des ruminants, par H. Guerin.
 - Quelques éléments sur l'embouche, par P. Lhoste.
 - L'association maraîchage-élevage au Sénégal : production de foin et lutte contre les nématodes, par G. Mandret.
 - Techniques testées et pré vulgarisées pour la production de petits ruminants en zones semi-arides, par D. Bourzat.
- Santé animale et reproduction.
 - Maladies parasitaires et traitements antiparasitaires en Afrique centro-occidentale sèche, par P.C. Morel.
 - Innovations en matière de pathologie infectieuse, par G. Tacher et G. Uilenberg.
 - Innovations en matière de reproduction bovine, par P. Chicoteau.
- L'utilisation des espaces pastoraux
 - Gestion des ressources pastorales, par G. Boudet.
 - Associations pastorales, par B. Peyre de Fabrègues.
 - Une nouvelle approche de l'élevage camelin, par G. Saint-Martin.

L'alimentation animale

Innovations de la recherche en matière d'alimentation des ruminants

La pathologie et la malnutrition, au sens large, sont les principales contraintes limitant le développement de l'élevage.

L'identification des agents pathogènes et de leurs vecteurs a permis de déboucher, pour de nombreuses maladies, sur des actions prophylactiques ou thérapeutiques techniquement maîtrisées.

En revanche, la description cartographique des pâturages, l'étude de certains facteurs de la dynamique de leur végétation et l'analyse clinique des fourrages ne suffisent que rarement à la conception et à la mise en œuvre d'une meilleure gestion des ressources alimentaires naturelles.

Cette difficulté s'explique par de nombreuses raisons parmi lesquelles le statut foncier des parcours et le manque de connaissances relatives aux relations plante-animal ou plus généralement animal-milieu et aux spécificités des fourrages tropicaux.

Tout en poursuivant la valorisation des nombreux travaux analytiques menés dans le domaine de l'alimentation animale depuis plusieurs décennies, la recherche porte ses efforts sur l'approche des bilans fourragers à l'échelle des terroirs et sur l'évaluation des rations effectivement ingérées en relation avec les besoins des animaux. Ces travaux restent cognitifs et parcellaires : mis à part quelques techniques isolées (innovations de la recherche, stockage des résidus de récolte, cultures fourragères, complémentation minérale et azotée, traitement chimique des fourrages pauvres, etc.), dont l'impact technico-économique est peu ou pas évolué et l'application limitée, ils ne débouchent pas encore sur des stratégies globales d'intensification des productions animales par l'alimentation.

Cette situation justifie le titre restrictif qui a été retenu (innovations de la recherche) ; mais, bien qu'expliquée par le vaste champ d'investigations (le végétal, l'animal dans leur milieu, leurs interactions complexes) auquel sont confrontés les chercheurs, elle ne peut perdurer.

Les résultats acquis, bien qu'incomplets (ils le seront toujours), doivent être l'objet de synthèses permettant une approche plus globale des "systèmes d'alimentation". Cette démarche conduit à développer des actions pluridisciplinaires tant avec les pathologistes qu'avec les agronomes ou les forestiers, comme le montrent certaines des actions évoquées ci-dessous.

Après un rappel des acquis (les antécédents) de la recherche en matière de connaissance des parcours naturels, de contraintes nutritionnelles et de possibilités d'intensification, sont exposées les actions les plus récentes (les innovations) – qui ne sont pas toutes novatrices, et correspondent plus souvent à un effort de synthèse – ainsi que quelques recommandations pour des recherches futures.

Les recherches avant 1980

■ Les parcours naturels

Face à l'immensité et à l'hétérogénéité des terroirs pastoraux, la cartographie des formations naturelles était une étape préliminaire indispensable à toutes les recherches ou actions de développement thématiques relatives aux parcours

sahéliens. BOUDET a fait la présentation synthétique de la méthodologie et des résultats de ces travaux de longue haleine lors des rééditions en 1974 puis en 1984 du "Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères".

L'estimation de la production fourragère et de ses variations saisonnières et interannuelles, d'une part, et, d'autre part, des besoins ou plutôt de la capacité d'ingestion des animaux avait (a toujours) pour finalité l'évaluation de la capacité de charge des parcours. Se basant sur la productivité de la strate herbacée, le taux de destruction des pailles en saison sèche (BILLE, 1977), la consommation moyenne de l'"unité bétail tropical" (UBT) et la quantité de "refus" nécessaire au tri des aliments par les animaux et au maintien de la couverture du sol en saison sèche, les pastoralistes ont proposé des capacités théoriques de charge figurant sur les cartes de pâturage ou leurs documents annexes. Bien que ces valeurs moyennes répondent aux préoccupations des responsables du développement au plan régional ou national, elles ne permettent pas l'optimisation de la gestion saisonnière et "parcellaire" des parcours, qui doit s'appuyer sur des données plus précises, malheureusement peu nombreuses ; au ranch d'Ekrafane (Niger), par exemple, fut étudié l'effet de la pression de pâturage (poids de matière sèche par UBT) et de la charge (UBT par hectare) sur la production par tête de bovin et par hectare (KLEIN, 1981).

■ Les données nutritionnelles

Lors de leurs campagnes de terrain, les pastoralistes ont collecté un grand nombre d'échantillons de fourrages dont les principaux constituants organiques (azote, cellulose) et minéraux (calcium, phosphore) ont été dosés. Les données relatives à la composition chimique des fourrages naturels ont été regroupées sous forme de tables avec celles concernant les fourrages cultivés et les résidus de récolte dans le "Manuel d'alimentation des ruminants domestiques" (RIVIERE, 1977). Cet ouvrage valorise, sous forme de recommandations, par système d'élevage, espèce animale et type d'aliment, les résultats d'essais et les expériences, réussies ou non, du développement. De par sa spécificité tropicale et les exemples concrets qu'il contient, il constitue toujours le document de référence pour résoudre les problèmes pratiques d'alimentation des ruminants en zone francophone. Toutefois, les données quantitatives doivent être révisées en tenant compte des nouvelles connaissances sur la valeur des aliments ainsi que des nouvelles unités de rationnement enseignées aux étudiants francophones depuis 1978.

L'analyse des fourrages sahéliens a révélé que, comme la plupart des fourrages tropicaux, ils ont des teneurs en certains minéraux insuffisantes pour couvrir les besoins nutritionnels du cheptel.

La carence en phosphore, la plus évidente, fut reconnue comme un facteur déterminant, par le pica qu'elle induit, de l'intoxication botulinique dénommée "maladie des forages" au Sénégal (CALVET *et al.*, 1965). L'analyse chimique de sérums de bovins confirma ces carences en phosphore et révéla des carences en calcium, cuivre et zinc chez les bovins sahéliens (FRIOT et CALVET, 1971). L'insuffisance du zinc dans l'alimentation est souvent suspectée d'accroître la sensibilité à la dermatophilose. La suite logique de ces travaux fut de tester sur le cheptel traditionnel les effets d'une complémentation sur la diminution de la mortalité et des pertes de poids en saison sèche (CALVET *et al.*, 1976) ; ces expérimentations furent à l'origine du dispositif d'encadrement des éleveurs sahéliens développé et géré par la SODESP (Société de développement de l'élevage en zone sylvopastorale, Sénégal).

Le coût des compléments minéraux manufacturés (et souvent importés) a justifié des expérimentations sur les phosphates naturels, abondants en Afrique

sahélienne et soudanienne. Les premiers résultats (SERRES et BERTAUDIERE, 1979) n'autorisaient pas une utilisation continue de ces phosphates à l'état brut et de nouveaux essais se sont révélés nécessaires (voir ci-dessous).

■ L'intensification

Les espoirs suscités par le développement de marchés régionaux de la viande, notamment vers les zones urbaines des régions de forêt humide, et par la volonté de favoriser une organisation "stratifiée" des éleveurs (naisseurs, rééleveurs, emboucheurs) justifiaient la mise au point de rations efficaces pour l'embouche des bovins. De nombreuses rations à base de sous-produits agro-industriels et de fourrages cultivés furent testées dans les stations zootechniques. Les résultats ont fait l'objet d'un colloque (IEMVT, 1973). Des rapports plus récents font la synthèse de ces travaux (DUMAS et COULOMB, 1978) ou exposent des essais ultérieurs (IEMVT, 1979).

Les effets d'une alimentation intensive sur la reproduction des bovins (DENIS et THIONGANO, 1978) ou sur les productions ovines (CHARRAY *et al.*, 1980) ont été moins étudiés.

Les causes sociales, économiques et techniques du faible niveau d'application des techniques d'alimentation intensives, pourtant assez bien maîtrisées, ont récemment été analysées par LHOSTE (1990).

Enfin, l'évolution de l'élevage sahélien depuis le milieu de ce siècle a fortement été influencée par les travaux d'hydraulique et la mise en exploitation de nombreux parcours autrefois désertés en saison sèche. La répartition des points d'eau et leurs caractéristiques ont partiellement été définies en fonction des besoins en eau du cheptel et de son aptitude à supporter un jeûne hydrique. Les données disponibles dans ce domaine ont été synthétisées par SERRES (1980) dans son ouvrage sur l'hydraulique pastorale.

Les innovations (1980-1990)

Les difficultés d'application des résultats de la recherche en pastoralisme et en zootechnie sont partiellement liées à la mobilité du cheptel et à l'exploitation diffuse et hétérogène des terroirs et des ressources fourragères qu'ils portent.

Il s'avère donc nécessaire d'appréhender, si possible quantitativement, la globalité des systèmes d'alimentation pour identifier avec suffisamment de rigueur les contraintes nutritionnelles et les éventuels leviers sur lesquels il est possible d'agir. Le tableau I résume quelques paramètres caractérisant l'exploitation des fourrages en milieu pastoral (GUERIN, 1987).

Ils sont plus simples à étudier que lorsque le cheptel exploite à la fois des pâturages naturels et des parcours post-récolte ou des jachères (DICKO et SANGARE, 1984 ; GUERIN *et al.*, 1985 ; RICHARD *et al.*, 1990 a).

Ces travaux se poursuivent et, bien que certains résultats soient valorisés, les synthèses ne sont encore qu'esquissées.

L'évaluation quantitative des surfaces pâturées, des fourrages disponibles et du cheptel correspondant est le premier élément de ces diagnostics (RICHARD *et al.*, 1990). L'étude des choix alimentaires rend bien compte de la fraction de la biomasse végétale utile aux différentes espèces animales suivant les saisons (GUERIN *et al.*, 1989) ; la description de la composition des régimes est un préalable à l'estimation de la valeur des rations ingérées au pâturage (GUERIN *et al.*, 1990) et à l'examen de la compétition et/ou de la complémentarité entre les espèces d'herbivores (NOLAN *et al.*, 1989). En zone sahélienne, ces études résultent principalement d'observa-

tions de terrain, mais les méthodes basées sur la reconnaissance au laboratoire des épidermes végétaux présents dans les contenus digestifs (PLANTON et MANDRET, 1989) sont séduisantes malgré les problèmes qu'elles posent (DIALLO, 1990).

Tableau I. Quelques interactions entre l'animal et le milieu sur les parcours naturels. Complémentarité des disciplines de la recherche pour l'étude des systèmes d'alimentation.

	Paramètres à étudier	Conséquences Objectifs d'une meilleure gestion	Disciplines d'étude
Climat, sol	Pluviosité, fertilité		
Pâturage naturel	Production de biomasse, flore	Evolution Objectifs : équilibre ou amélioration	Pastoralisme
Interface	Charge* Pression de pâturage** Déplacements du bétail Préférences alimentaires Valeur nutritive des fourrages disponibles	Action de l'animal sur le milieu Valeur des rations ingérées au pâturage	Nutrition
Ruminants domestiques	Démographie : espèces, effectifs	Productivité numérique et pondérale Objectifs : accroissement de la productivité par tête et par unité de surface	Zootecnie

* Biomasse animale par hectare.

** Biomasse animale/biomasse végétale.

Les valeurs des rations consommées au pâturage ou en stabulation ne peut être approchée que par une connaissance assez fine des teneurs en énergie, en azote digestibles et en minéraux des espèces fourragères. C'est pourquoi de très nombreuses analyses et des mesures de digestibilité furent nécessaires à une synthèse sur la composition minérale des fourrages et les risques de carence au Sahel (IEMVT-CTA, 1985 à 1990) ainsi que, plus généralement, à l'élaboration de tables de valeur alimentaire des fourrages naturels herbacés, de graminées cultivées sous irrigation, de sous-produits agro-industriels et de résidus de récolte (RICHARD *et al.*, 1989). La caractérisation de la valeur alimentaire des fourrages ligneux pose des problèmes spécifiques (KONE *et al.*, 1989) et elle fait l'objet depuis 1989 d'un programme de recherche spécifique (CEE-DG XII) faisant intervenir cinq pays africains sahéliens ou non (Mali, Sénégal, Tchad, Cameroun, Côte-d'Ivoire) en collaboration avec trois pays européens (France, Allemagne, Belgique).

Le cheptel sahélien bien que peu productif est unanimement reconnu comme performant compte tenu de la rigueur du milieu, de la composition moyenne des fourrages et de l'aptitude des animaux maigres à valoriser les rations d'embouche. La rusticité, certaines adaptations physiologiques (comportement alimentaire, besoins en eau, recyclage métabolique de l'azote, etc.) expliquent partiellement ce paradoxe très relatif ; mais le souci d'assurer aux animaux la couverture de leurs besoins nutritionnels dans la perspective d'élevages modernes ou au moins intensifiés conduit à l'étude d'éventuelles particularités des races tropicales, sahéliennes en particulier, pour l'ingestion des fourrages et l'utilisation de l'énergie ou de l'azote.

La première étape de ces travaux délicats consiste à comparer les besoins "théoriques" (estimés d'après les performances zootechniques et les normes mises au point pour les races de zone tempérée) et les apports nutritifs, en premier lieu énergétiques (azote et minéraux non limitants), mesurés en stabulation sur des animaux en croissance engraissement (RICHARD *et al.*, 1990 *b*) ; le même type de comparaisons est en cours pour les animaux au pâturage mais elles sont plus complexes du fait des difficultés d'évaluation de la valeur des rations et des quantités ingérées, ainsi que des besoins liés aux déplacements.

Les écarts mis en évidence ne permettent pas de conclure directement à des différences de rendement dans la transformation de l'énergie en graisse ou en muscle ; ils s'expliquent en grande partie par des variations de poids de contenus digestifs liés aux variations saisonnières du régime et par la composition corporelle (pourcentages d'eau, d'os, de muscle, de graisse * dans le poids vif et dans le croît) variable suivant l'espèce, la race, le stade physiologique (RICHARD *et al.*, 1990). Ces paramètres, très difficiles à étudier sur les bovins compte tenu de leur taille, le sont plus facilement sur les petits ruminants malgré les difficultés méthodologiques inhérentes à ce type de mesures (RICHARD, 1988).

Il s'agit là de recherches de longue haleine qui contribueront à expliquer, valider et généraliser à des situations variées les résultats obtenus lors d'essais d'alimentation en stabulation (essais d'embouche par exemple) ou d'essais de complémentation au pâturage.

Les effets positifs de la complémentation, principalement azotée et minérale, ont été mesurés çà et là, mais sa rentabilité économique reste le plus souvent à vérifier (GUERIN *et al.*, 1990 *a* et *b*). En revanche, le stockage et les techniques de conservation ou de traitement chimique des résidus de culture ne nécessitent pas d'intrants, ou très peu. Elles tendent à se développer dans les régions agricoles où la pression foncière est telle que les fourrages naturels sont de moins en moins disponibles, et où les organismes de développement stimulent l'adoption de techniques favorables à l'intégration de l'agriculture et de l'élevage (LHOSTE, 1988).

Les pratiques des éleveurs et le comportement du cheptel vis-à-vis des ressources en eau conditionnent tout autant les productions animales que la valeur et l'utilisation des fourrages. MILLEVILLE *et al.* (1982) ont analysé les modes d'abreuvement du bétail de la région de l'Oudalan (Burkina Faso) en relation avec la répartition des points d'eau et des campements, ainsi que leurs conséquences sur l'utilisation des fourrages en saison sèche **. Bien que ses essais n'aient pas été conduits au Sahel, mais en Ethiopie, les résultats de NICHOLSON (1987) montrent que l'abreuvement tous les 2 ou 3 jours des zébus n'affecte pas la production de viande mais seulement la production laitière.

Recommandations

Lorsque la charge animale est adaptée aux ressources fourragères et lorsque la flore est variée, les animaux parviennent, grâce à leurs choix alimentaires, variables d'une espèce à l'autre, à ingérer des rations dont la valeur est supérieure à celle du tapis graminéen qui constitue pourtant l'essentiel de la biomasse.

* Ou plus précisément de cendres, de lipides et de protides

** Evolution des stocks disponibles suivant les modes d'abreuvement et la distance des points d'eau.

En conséquence, les performances zootechniques sont souvent supérieures à celles attendues au vu des analyses de fourrages et la complémentation n'est pas toujours justifiée économiquement.

Les efforts doivent donc surtout porter sur une meilleure gestion des parcours : mises en défens, aménagements, charges, association raisonnée de plusieurs espèces animales...

Les recherches peuvent concerner les points suivants :

- Les effets de la pression de pâturage suivant l'importance relative des ressources fourragères (fourrages herbacés, fourrages ligneux, fourrages naturels, résidus de récolte, etc.) et des espèces animales (bovins, ovins, caprins, camelins) sur la dynamique des parcours et des productions animales.

- Quelques essais complémentaires pour préciser les effets des rythmes d'abreuvement et des longueurs des déplacements, très liés aux aménagements hydrauliques, sur la valorisation des ressources pastorales et les productions numériques et pondérales du cheptel.

- Les effets de la supplémentation minérale (phosphore plus ou moins soluble * ; oligoéléments : cuivre et zinc) sur la résistance aux maladies (zinc et dermatophylose, programme CEE-DG XII, par exemple) et les performances zootechniques des ruminants domestiques.

- La complémentation des animaux en croissance avec des sous-produits étant le plus souvent à la limite de la rentabilité, il est prioritaire d'étudier les effets technico-économiques de la complémentation sur la productivité numérique, caractérisée par le nombre et le poids de jeunes sevrés par femelle et par an en insistant sur la notion de carrière. Ceci suppose la mise en place d'essais pluriannuels parfois difficiles à maîtriser.

- Les principaux aliments utilisés par la complémentation sont les tourteaux d'arachide et de coton et les fanes de légumineuses (arachide, niébé), mais il est nécessaire de multiplier les essais avec des blocs de mélasse-urée (SANSOUCY, 1986), des fourrages pauvres traités par l'urée ou des ligneux fourragers produits dans le cadre des opérations d'agroforesterie.

Ce dernier point renforce l'idée qu'il faut associer la valeur alimentaire aux divers critères agro-écologiques conduisant aux choix des espèces d'arbres et d'arbustes à cultiver, protéger ou éradiquer.

Quelques éléments sur l'embouche

L'embouche consiste à préparer des animaux pour l'abattage en leur donnant une alimentation adaptée, plus ou moins intensive, afin de les remettre en état avant leur exploitation pour la viande. Cette opération vise essentiellement à augmenter le poids vif des animaux à exploiter mais elle permet aussi d'améliorer la qualité de la viande ainsi que les rendements à l'abattage et au désossage.

Les fondements théoriques et pratiques de l'embouche en zone sahélienne sont consistants et ils ont fait l'objet de nombreux travaux (par les équipes de l'ITEMVT notamment, dans les années 70 **); nous pouvons rappeler, à ce titre, que l'embouche se justifie au plan spatial, temporel et économique.

* Utilisation des phosphates naturels (FALL, 1988).

** Actes du colloque sur l'embouche intensive des bovins en pays tropicaux, Dakar, 4-8 décembre 1973. Maisons-Alfort, ITEMVT, 322 p.

Les zones de production des animaux (zones pastorales d'élevage naisseur) sont souvent assez éloignées des principaux marchés de consommation, justifiant un transfert dans l'espace des animaux pour les rapprocher progressivement de ces marchés ; l'opération d'embouche peut se situer au cours de ce déplacement des animaux.

Les ressources alimentaires naturelles ne sont pas suffisantes, en toutes saisons, pour bien "finir" les animaux destinés à l'abattage, mais il existe, dans la région, des sources d'aliments du bétail utilisables en embouche, soit dans certaines exploitations agricoles (résidus culturaux ou sous-produits domestiques), soit dans les complexes agro-industriels : huileries, sucreries, rizeries, brasseries, etc. L'embouche permet donc une remise en état à contre-saison des animaux, à une époque (fin de saison sèche) où les systèmes extensifs ne produisent que des carcasses en mauvais état de finition ; ce transfert dans le temps contribue donc à la régularisation de l'offre de viande dans l'année.

Enfin, au plan économique, produisant des carcasses de qualité à contre-saison par rapport aux élevages de la région, l'embouche permet de bénéficier des variations saisonnières des cours de la viande (prix qui augmentent à la période de pénurie).

On distingue classiquement deux types d'embouche : l'embouche paysanne et l'embouche industrielle.

L'embouche paysanne

L'embouche en milieu paysan est discrète, peu étudiée et donc assez mal connue. Elle concerne surtout les petits ruminants et dans une moindre mesure les bovins ; elle est effectuée dans l'élevage même ou dans l'exploitation agricole familiale, en utilisant des ressources alimentaires locales et produites en majorité sur l'exploitation telles que les fanes de légumineuses (niébé, arachide...), les sous-produits domestiques (sons de céréales, tourteaux artisanaux...), des produits de cueillette (gousses d'acacia, feuillages d'arbres et d'arbustes : "fourrage aérien"...). Des aliments concentrés produits dans la région peuvent être achetés par les emboucheurs pour cette opération : graines et tourteaux de coton, issues de rizeries...

Certaines régions paraissent relativement spécialisées dans l'embouche paysanne bovine ; c'est le cas du Nord-Cameroun (pays kirdi), du Niger (pays haoussa, région de Maradi), du Sénégal (dans le nord du bassin arachidier), etc. On peut aussi citer une forme d'embouche paysanne particulière, conduite au Mali, à partir du fourrage aquatique des bourgoutières, dans le delta central du fleuve Niger.

Dans les systèmes agropastoraux soudano-sahéliens, où la traction animale prend une place croissante, les bovins de trait font souvent l'objet d'embouche sur l'exploitation même, selon deux modalités principales :

- la finition classique (relativement courte et intensive) de l'animal réformé en fin de carrière, avant sa vente en boucherie ;
- l'embouche longue (qualifiée d'"embouche déguisée" au Sénégal), qui se fait pendant la période de travail d'un animal de trait acquis jeune et valorisé en boucherie après une courte carrière de travail.

Nous avons étudié particulièrement ces stratégies paysannes au Sénégal (LHOSTE, 1986), montrant qu'elles permettent une optimisation énergétique de l'utilisation du facteur limitant principal : l'alimentation. Elles se traduisent également par une valorisation économique optimale des ressources de l'exploitation. Fondées sur des carrières de travail relativement courtes, ces stratégies posent essentiellement le problème du renouvellement des animaux de trait ; elles doivent donc s'accompagner de mesures d'organisation de la filière, tant en amont pour l'approvisionnement en jeunes bœufs qu'en aval pour l'écoulement des animaux finis.

Bien que logique et bien intégrée dans les systèmes de production concernés, l'embouche bovine en milieu paysan reste cependant limitée pour diverses raisons :

- les disponibilités financières des opérateurs sont souvent trop limitées (une forme de crédit adaptée pourrait améliorer la situation : par exemple la création de GIE au nord du Sénégal) ;
- l'insuffisance fréquente des ressources alimentaires pour l'embouche sur l'exploitation ;
- les difficultés rencontrées par les producteurs isolés et inorganisés pour commercialiser leurs animaux dans des conditions financières favorables.

L'embouche industrielle

Cette forme d'embouche est mieux connue, dans sa composante technique au moins, car elle a fait l'objet d'un certain nombre d'études et de publications (cf. le colloque de Dakar, 1973, déjà cité). Différentes races de bétail et différents types d'animaux sahéliens ont été testés et les principales sources alimentaires connues ont fait l'objet d'expérimentations en milieu contrôlé, permettant de maîtriser le rationnement des animaux. Dans l'ensemble, les performances zootechniques enregistrées sont acceptables et surtout liées à des facteurs tels que l'âge des animaux et la durée de la période d'embouche.

Ce type d'embouche fait appel aux sources d'aliments disponibles sur place en grandes quantités, avec l'utilisation de sous-produits agro-industriels, tels que la mélasse et les bouts blancs de canne à sucre, les issues de riz, les graines, coques et tourteaux de coton. Le centre d'embouche produit parfois ses fourrages (maïs ou prairies artificielles avec irrigation, par exemple) mais il peut, là encore, utiliser des sources locales d'aliments de lest, la paille de riz par exemple. On trouvera donc assez logiquement ces centres d'embouche industrielle à proximité ou en liaison directe avec les complexes agro-industriels (sucreries par exemple).

Soulignons, à ce propos, que la formule "industrielle" n'est pas nécessairement la plus rentable et la plus pérenne à long terme. On peut très bien concevoir des ateliers de dimension plus modeste, qui fonctionneraient sur des bases techniques comparables : en milieu périurbain, c'est déjà une réalité dans plusieurs villes sahéliennes ; en milieu villageois, cela suppose une organisation collective adéquate ou la présence d'opérateurs efficaces.

Les schémas mis en place sur le terrain ne sont toutefois pas légion et ils n'ont pas tous été de pleines réussites. Les principales difficultés rencontrées sont de nature diverse :

- problèmes d'approvisionnement en bétail maigre : l'amont du centre d'embouche est en effet difficile à maîtriser et des événements extérieurs incontrôlables tels que la sécheresse ou des aléas économiques peuvent avoir de fortes interférences sur les achats du bétail destiné à l'engraissement ;
- la disponibilité et la régularité des approvisionnements pour l'alimentation des animaux sont des causes fréquentes de problèmes techniques sur ces centres très dépendants de certaines sources d'énergie (mélasse par exemple) ou d'azote (tourteaux) ;

• certaines opérations n'ont pas eu, sur le long terme, une gestion suffisamment rigoureuse pour leur permettre de bien maîtriser l'aval : abattages, conditionnement éventuel de la viande, chaîne du froid, relation avec les clients, gestion financière, etc.

Compte tenu des fondements logiques et des acquis techniques sur l'embouche, il nous paraît judicieux de réfléchir à des formes d'organisation de la filière et des producteurs pour développer cette fonction dans les pays sahéliens.

L'association maraîchage-élevage au Sénégal : production de foin et lutte contre les nématodes

Parler d'intensification fourragère en zone sahélienne peut surprendre, mais c'est dans bien des cas la solution la plus proche de la réalité socio-économique du producteur ou du village, voire même d'une région ou d'un système de production. Au Sénégal, des expérimentations ont été menées depuis plus de 10 ans sur les plantes fourragères et plus particulièrement sur la graminée tropicale *Panicum maximum* par le service des cultures fourragères de l'Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA).

Les recherches entreprises sur *P. maximum* ont permis d'observer :

- une production optimale de 40 tonnes de matière sèche par hectare et par an sous irrigation et fertilisation modérée ;
- un effet nématocide ;
- une bonne ingestibilité et digestibilité.

Au Sénégal, l'intensification fourragère avec *P. maximum* semblait agronomiquement possible, mais il restait à définir le mode de gestion de cette graminée en fonction de l'environnement socio-économique.

Dans le contexte sénégalais, seul un maraîcher est susceptible de cultiver du fourrage par irrigation et d'être directement concerné par l'effet nématocide de *P. maximum*. De plus, la demande de foin pour l'engraissement des moutons de la Tabaski (fête religieuse) est importante en zone urbaine, même si le marché est actuellement dominé par la fane d'arachide.

L'association maraîchage-élevage, innovation proposée par la recherche sénégalaise depuis 1989, peut constituer une source de réserves fourragères appréciable et servir d'exemple à d'autres pays sahéliens, confrontés aux mêmes problèmes de valorisation d'un espace agropastoral souvent difficile à gérer.

L'aspect agronomique

Au Sénégal, l'exploitation intensive de *P. maximum* a été expérimentée dans la zone dite des Niayes, où l'activité principale est le maraîchage. Cette zone, qui représente une bande côtière de 30 km de large entre les villes de Saint-Louis et Dakar (200 km), est sous l'influence d'un climat subcanarien dominé par trois saisons :

- la saison sèche froide, de novembre à mars, avec des températures qui sont caractérisées par la relation suivante (MANDRET *et al.*, 1989) : $ST_{min} = 14,91 \text{ Trep}$; $R > 0,9999$; $n = 5$, où ST_{min} = somme des températures (minimales) et Trep = temps de repousse (jours) ;
- la saison sèche chaude, de mars à mi-juillet : $ST_{min} = 20,10 \text{ Trep}$; $R > 0,9997$; $n = 7$;
- la saison des pluies, de mi-juillet à octobre, avec des températures caractérisées par la relation : $ST_{min} = 25,35 \text{ Trep}$; $R > 0,9999$; $n = 7$.

La culture intensive de *P. maximum* nécessite, sur ces terres argilo-sableuses de pH compris entre 5,3 et 6,5, une irrigation équivalente à 4 mm par jour d'août à mars et 5 mm d'avril à juillet (BOYER et ROBERGE, 1985).

En saison sèche froide, la croissance de *P. maximum* est faible si aucune fertilisation azotée n'est apportée et, au-delà de 50 jours de repousse, la production

journalière de matière sèche diminue quel que soit le niveau de fumure azotée adopté (MANDRET *et al.*, 1990).

En saison sèche chaude, la réponse aux températures minimales plus élevées se traduit par un départ en croissance plus rapide et une productivité plus importante. La production journalière de matière sèche est d'environ 75, 150 et 200 kg/ha pour des niveaux de fumure azotée respectifs de 0, 75 et 150 unités à l'hectare.

En saison des pluies, la croissance journalière est moins régulière, comparée aux autres saisons. Elle oscille entre 27 et 65 kg de matière sèche sans fertilisation azotée, 51 à 101 kg de MS pour le niveau N75 et 85 à 154 kg de MS pour le niveau N150. Cependant, on assiste à une flambée de croissance dans les vingt premiers jours et l'apport d'une fumure azotée permet une "flambée" plus importante, qui se répercute à terme sur la croissance journalière.

Le coefficient apparent d'utilisation de l'engrais azoté, qui traduit l'incidence économique de la fertilisation, est très faible en période froide (10 à 25 %), alors qu'il dépasse 40 à 50 % en période chaude (MANDRET *et al.*, 1990).

Pour les trois cultivars de *P. maximum* expérimentés (K187b, T58 et C1), le rendement annuel est identique pour un même niveau de fumure azotée. Il est de 40 tonnes de matière sèche par hectare et par an avec 450 kg d'urée à l'hectare.

Des essais de rotation de *P. maximum* avec une culture de tomate ont fait ressortir l'effet nématocide de *P. maximum* (MANDRET *et al.*, 1989). L'éradication des nématodes du type méloïdogynes est importante après 12 mois de culture de *Panicum* et totale après 18 mois. Les profils racinaires sur *P. maximum* irrigué ont montré, pour des écartements de 30 x 30 cm, 6 mois après semis, une densité de racines d'environ 98 % à 10 cm de profondeur et 34 % à 50 cm de profondeur (MANDRET *et al.*, 1989). Le système racinaire est donc suffisamment dense pour empêcher l'implantation d'éventuelles plantes hôtes pour les méloïdogynes, mais, plus encore, *P. maximum* semble avoir un effet répulsif, puisque sur jachère nue le pourcentage d'infestation reste important (tableau I).

Tableau I. Pourcentage d'infestation par les méloïdogynes sur les différents traitements 12 mois après le dernier cycle cultural (d'après MANDRET *et al.*, 1989).

Rotation	% d'infestation	Ecart-type (n = 7)
Départ	75	
Tomate- <i>Panicum</i> T58	10	3,2
Tomate- <i>Panicum</i> C1	25	5,3
Tomate-patate douce-gombo	79	9,1
Tomate-patate douce-arachide	66	10,0
Tomate-sol nu	66	6,4
Tomate-nématocide	1	0,7

En plus de cet effet nématocide, un des rôles majeurs d'une rotation à base de *P. maximum* sera de rehausser le taux de matière organique dans le sol et d'améliorer son état physique ainsi que certaines de ses propriétés chimiques. Nous n'avons pas mesuré l'évolution quantitative du stock de matière organique, mais TALINEAU et HAINNAUX (1974) ont observé, en Côte-d'Ivoire, que la matière organique augmente pendant les 18 mois qui suivent l'implantation de *Panicum*. Bien que l'évolution de la matière organique dans le temps soit ensuite plus variable (succession de diminutions et d'accroissements), ces auteurs ont enregistré, en trois ans, pour une profondeur de sol de 25 cm, une augmentation du stock de matière organique de 5,5 tonnes sans fertilisation.

En rotation avec les cultures maraîchères, *P. maximum* peut être installé de mai (année 1) à novembre (année 2), de telle sorte qu'une seule saison de maraîchage (le maraîchage s'effectue surtout de novembre à juin) est occupée par la rotation.

Le foin produit a une très bonne ingestibilité avec les ovins, 55 g/kg p^{0,75}, et une digestibilité de la matière organique d'environ 47 à 69 % pour des repousses de 21 à 63 jours (MANDRET *et al.*, 1990)

L'aspect économique

En plus du bénéfice réalisable grâce à l'éradication des nématodes, le maraîcher peut aisément valoriser la production de biomasse de *P. maximum*. Au Sénégal, l'élevage ovin en zone urbaine représente, pour le seul mois qui précède la fête de la Tabaski, une demande potentielle en fourrage d'environ 4 800 tonnes, soit 240 millions de FCFA si on se base sur le prix de vente de la fane d'arachide (LECAM, 1989).

La fane d'arachide est actuellement la principale réserve fourragère du Sénégal. Elle est commercialisée sur les centres urbains avec des marges bénéficiaires qui varient beaucoup selon l'intervenant dans la filière (tableau II).

Tableau II. Prix moyens de revient et de vente (par kg) de la fane d'arachide, en FCFA (d'après LECAM, 1989).

Intervenant	Prix de revient	Prix de vente	Bénéfice
Producteur	5,30	7,5	2,20
Dépositaire	13,25	20,0	6,75
Transporteur	18,00	35,0	17,00
Grossiste	35,00	45,0	10,00
Détaillant	45,00	54,5	9,50

On constate que, dans le système en place, ce sont le producteur et le consommateur qui sont lésés. Le premier parce que sa marge bénéficiaire est trop faible, le second parce que l'aliment arrive sur le marché à un coût trop élevé en rapport avec sa qualité (les sacs de fane d'arachide contenant essentiellement des tiges).

En se basant sur les prix de la fane d'arachide, on peut donner un coût d'opportunité (CO) pour *Panicum*, c'est-à-dire un prix de vente à ne pas dépasser pour concurrencer cette fane :

$$CO = \frac{\text{prix de vente au consommateur}}{1 - \text{marge de l'intermédiaire}}$$

Dans ces conditions, il est préférable d'éviter le grossiste qui, avec une marge de 40 %, ne permet qu'un coût d'opportunité de 21 à 36 FCFA/kg, alors qu'avec un cockseur (petit intermédiaire), dont la marge n'est que de 5 %, on atteint un coût d'opportunité variant de 33,25 à 57 FCFA/kg selon la date de vente (LECAM, 1989).

L'étude comparée des coûts d'opportunité et des prix de revient de *Panicum* (coûts de production + coûts de distribution) fait ressortir une marge bénéficiaire, pour un maraîcher, qui se situe bien au-dessus de ce que peut espérer un producteur de fanes d'arachide (tableau III).

Tableau III. Revenus escomptés par la production de foin de *P. maximum* chez un maraîcher (FCFA/kg).

	Saison sèche froide	Saison sèche chaude	Saison des pluies
Coût d'opportunité	33,25	33,25 à 57	57 à 33,25
Prix de revient	28,9	39,9	41,7
Marge bénéficiaire	4,35	- 6,65 à 17,1	15,3 à - 8,45

Avec une orientation des ventes en fonction du prix de revient et du prix de vente, les bénéfices seront accrus (tableau IV).

Tableau IV. Bénéfices réalisables sur 18 mois avec la production de foin en fonction de la date de vente.

Production de <i>Panicum</i>	Ventes après récolte	Bénéfices (FCFA/ha)
SDP 20 t/ha	SSF	87 000
SSF 15 t/ha	SSC	128 250
SSC 15 t/ha	SDP	114 600
SDP 20 t/ha	SSF	87 000
70 t/ha		416 850
Orientation des ventes		
SDP 10 t	SSF	43 500
SDP 10 t	Fin de SSC	171 000
SSF 15 t	Fin de SSC	256 500
SSC 15 t	Début de SDP	229 500
SDP 10 t	SSF	43 500
SDP 10 t	Fin de SSC	171 000
70 t		915 000

SDP : saison des pluies ; SSF : saison sèche froide ; SSC : saison sèche chaude.

Deux cultures complémentaires

La production intensive de foin de *Panicum maximum* au Sénégal, pour alimenter le marché du fourrage, ne peut s'envisager, dans le contexte socio-économique actuel, qu'en association avec le maraîchage où l'irrigation n'est pas un problème.

La plupart des cultures maraîchères de ce pays sont infestées par des nématodes du type méloïdogynes qui font chuter les rendements et augmenter les coûts de production. L'introduction d'une sole fourragère permet, à moindre coût, d'éradiquer ces nématodes tout en procurant un revenu non négligeable au producteur.

L'organisation des maraîchers en groupements d'intérêt économique permettrait certainement d'améliorer les marges bénéficiaires d'un tel système de production, mais surtout de créer des lieux de stockage du foin qui ne manqueront pas de faire défaut.

Sur 5 mois, un maraîcher cultivant de la tomate réalisera un bénéfice de 1 380 000 FCFA/ha dans les meilleures conditions. Mais cette culture ne peut se pratiquer toute l'année. L'introduction de *Panicum maximum* sur 18 mois portera son bénéfice à 2 295 000 FCFA sur 2 ans et la répercussion d'une telle rotation sera importante du point de vue agronomique, d'abord par l'éradication des nématodes, ensuite avec l'évolution des sols par l'accumulation de matière organique.

Techniques testées et pré vulgarisées pour la production de petits ruminants en zones semi-arides

Ces techniques mises au point dans le cadre du projet de recherche-développement du Yatenga (Burkina Faso) sont déjà vulgarisées.

Plan de prophylaxie

Le suivi clinique des animaux a montré une forte recrudescence des affections respiratoires pendant la saison sèche froide (premier pic de mortalité). En 1980, fut testé un programme de vaccination, sur 9 800 ovins et caprins.

Le suivi parasitologique a permis d'expliquer le deuxième pic de mortalité (début de saison des pluies). Les nématodoses (*Haemonchus contorsus*, *Oestertagis*, *Trichostrongylus*, *Oesophagostomum*) constituent le parasitisme majeur.

Le plan de prophylaxie adopté repose sur une vaccination annuelle contre la PPR et deux interventions anthelminthiques au début et à la fin de la saison des pluies.

Amélioration de l'alimentation

Deux voies furent explorées pour pallier l'irrégularité de la production primaire au cours de l'année.

- Une meilleure utilisation des sous-produits de récolte, pour compléter les animaux en fin de saison sèche.

Le protocole retenu pour la vulgarisation de l'enrichissement des pailles par adjonction d'urée est le suivant : ensilage de paille de sorgho, de mil ou de riz.

Le traitement de la paille est réalisé par voie humide à raison de 300 l d'eau pour 300 kg de paille, la concentration de la solution initiale étant de 3,25 % d'azote par litre (21 kg d'urée agricole). Au cours du chargement du silo, la paille est tassée, le haut du silo est recouvert d'une couche de paille sèche et chargé. La distribution peut commencer 3 à 4 semaines après le chargement.

Les pailles traitées sont distribuées hachées en brins de 4 à 6 cm. Dans la mesure où ce produit était disponible, les animaux ont bénéficié d'un complément de mélasse distribué soit par aspersion sur la paille, soit en bloc à lécher.

- Intensifier une partie de la production.

Les jeunes ovins se prêtent bien à l'embouche intensive. Cette embouche de courte durée (une centaine de jours) utilise la main-d'œuvre familiale, disponible en saison sèche, et réduit la charge des pâturages tout en fournissant un apport de trésorerie important.

Selon la formule d'embouche vulgarisée, 10 à 20 jeunes mâles entiers de 14 à 18 mois, déparasités, douchés et vaccinés sont maintenus en stabulation libre pendant toute la durée de l'embouche. Il reçoivent (en g/kg MS) : 350 g de mélasse, 250 g de tourteau de coton, 200 g de paille de mil ou de sorgho, 20 g de complément minéral. L'apport énergétique est de 0,78 UFV et 104 g de MAD/kg de MS.

La paille coupée en brins de 5 à 8 cm est mélassée par aspersion et brassage dans l'auge. Les refus ($\pm 10\%$) de la veille sont enlevés et mis à la fosse fumière.

Le tourteau de coton est distribué séparément. Les animaux disposent d'eau à volonté.

Les résultats sont reportés dans le tableau I.

Tableau I. Résultats moyens de l'embouche
de jeunes mâles.

Effectif	15
Poids initial (kg)	17,9 ± 1,1
Poids final (kg)	28,1 ± 1,6
GMQ (g/j)	111
Poids carcasses chaudes (kg)	13,7 ± 1,2
Consommation de MS	
• en g/animal/jour	1 035
• en g/kg ^{0,75}	98,8
Indice de consommation	
(kg MS/kg de gain)	9,44

Ce programme est facile d'application et les animaux de races locales s'adaptent bien à ce régime et à la stabulation.

Cette technique a été très rapidement adoptée par les paysans et le nombre d'agneaux engraisés est passé de 600 en 1983 à 5 000 en 1986.

Les études de budgets familiaux, menées en 1983-84, ont montré qu'une unité d'embouche de 15 animaux augmentait le revenu monétaire moyen de l'agriculteur de 40 % (BOURZAT, 1984) *.

Enfin, sur le plan agronomique, ces opérations d'embouche fournissent à l'exploitation 3 à 4 t (15 agneaux) de fumier d'excellente qualité.

* BOURZAT D., 1984. Synthèse des essais d'alimentation menés au centre d'appui zootechnique de Ouahigouya, Haute-Volta. Maisons-Alfort, IEMVT.

Santé animale et reproduction

Maladies parasitaires et traitements antiparasitaires

Les trois groupes majeurs de parasitoses touchant le bétail dans les pâturages tropicaux sahéliens et soudaniens sont les helminthoses, les maladies associées aux tiques et les trypanosomoses. Ces dernières apparaissant comme marginales par rapport aux zones considérées, et présentant leur gravité majeure dans les savanes humides, il n'en sera pas fait état.

Les helminthoses

Les données relatives aux agents responsables des helminthoses des bovins et des petits ruminants ont été fondamentalement étudiées sur le territoire du Tchad, tant en ce qui concerne l'identité des parasites, leur distribution, leur importance pathogène que leurs cycles annuels de développement. Des études complémentaires et parallèles ont été menées au Niger et au Sénégal par des agents de l'IEMVT. La responsabilité majeure de la gravité des polyparasitoses à helminthes revient aux strongles et aux cestodes intestinaux, présents potentiellement sur toute la surface des pâturages et dont les formes infestantes, larves libres ou véhiculées par un invertébré, sont associées à la couverture herbacée en saison des pluies. Les trématodes hépatiques (douve) peuvent constituer un élément important ou prépondérant des helminthoses, mais sont irrégulièrement distribués et liés au réseau hydrographique : rives des mares ou des lacs permanents, des rivières à cours ralenti, ou encore zones d'inondation des grands fleuves.

Les recherches ont permis la mise en évidence de la période de transmission et de prolifération, pendant la saison des pluies d'une part pour les strongles et les cestodes, phénomène lié à la consommation de la couverture herbacée, pendant la saison sèche d'autre part en ce qui concerne les douves, du fait des contacts fréquents qu'a le bétail pendant cette saison avec les points d'eau subsistants et avec les pâturages de décrue.

Les données ont permis de recommander deux périodes optimales de traitement du bétail par les anthelminthiques : un premier traitement pendant le mois qui précède ordinairement le début de la saison des pluies, pour réduire l'infestation des pâturages en limitant le nombre d'œufs répandus de strongles et de cestodes, ainsi que pour débarrasser le bétail des jeunes douves contractées au cours de la saison sèche ; un second traitement pendant le mois qui suit la saison des pluies, pour débarrasser au maximum le bétail de ses helminthes parasites, afin qu'il profite au mieux des pâturages appauvris de saison sèche, et de réduire, en ce qui concerne les douves, l'infestation des points d'eau fréquentés par le bétail à partir de ce moment.

Le calendrier des traitements annuels en deux interventions est applicable dans toute la zone d'élevage s'étendant de l'Atlantique au Nil. Il s'adresse au bétail traditionnel, transhumant ou sédentaire. Il peut être pratiqué par les éleveurs eux-mêmes ou par le personnel technique des services de santé animale ou de production animale. Ces deux traitements annuels par animal correspondent au coût minimal (médicaments, main-d'œuvre, etc.) par rapport aux bénéfices qu'on peut espérer retirer de cette intervention, en fonction de la rusticité et de la productivité propres aux races traditionnelles de bétail. Il serait certainement inutile économiquement de traiter plus souvent. Le cas serait différent s'il s'agissait de bétail traditionnel déjà sélectionné sur une meilleure productivité, encore plus si on avait affaire à des bovins très améliorés importés : dans ce cas, le principe d'emploi des anthelminthiques se rapprocherait des conceptions en vigueur pour la prophylaxie des helminthoses dans les pays développés, avec des interventions plus fréquentes assurant la productivité maximale du bétail auquel on a affaire.

Les tiques et maladies associées

Le second groupe de parasitoses tropicales majeures du bétail est constitué par les tiques et les maladies associées. Les études menées principalement au Sénégal ont permis d'établir la distribution des tiques importantes du bétail, leur cycle et leur activité saisonnière. La signification de l'isohyète des 500 mm annuels a été mise en évidence de ce point de vue : cette isohyète constitue la limite nord de distribution des quelques espèces de tiques vectrices d'agents pathogènes importants (cowdria, babésias, anaplasmes).

L'ensemble des données recueillies n'a pas débouché sur la mise en place de traitements généralisés contre les tiques, cela pour plusieurs raisons. D'une part, la lutte contre les tiques est très chère (coût des baignoires de détiqage, des motopompes, des pompes mécaniques d'aspersion ; coût des acaricides) et les bénéfices de cette lutte seraient difficiles à évaluer sur les races bovines traditionnelles, génétiquement très hétérogènes, rustiques et à productivité très diverse d'un individu à l'autre. D'autre part, les bovins traditionnels, zébus ou taurins, sont peu sensibles aux agents pathogènes transmis par les tiques, surtout lorsque les infections sont précoces, et les maladies sous leur forme clinique n'entraînent que des pertes minimales. Enfin, la pratique régulière des traitements (en principe chaque semaine pendant la saison des pluies) est très contraignante.

Au total, les éleveurs sont très peu motivés pour ce type de traitement, et le plus souvent, même quand des dispositifs d'application existent, la fréquentation des baignoires ou la pratique d'aspersion d'acaricides sont très irrégulières et en nombre minimal. Elles ne rentabilisent pas les investissements effectués. Si bien que, dans la lutte contre les tiques, l'élément nouveau est la prudence la plus complète à ce sujet.

Dans le cadre de l'élevage traditionnel, il faut éviter les initiatives temporaires non justifiées, plus théoriques que pratiques. Au contraire, une telle lutte pourra être envisagée dans un projet d'élevage encadré ou dans un ranch, à condition que la plus-value apportée par ces traitements rentabilise les coûts. Par ailleurs, la justification de cette lutte existerait dans le cas d'élevage de races bovines importées, très productives mais très sensibles aux tiques et maladies associées à l'état de pur-sang, moins sensibles s'il s'agit de demi-sang, avec éventuellement des vaccinations contre les agents pathogènes, à condition que les contraintes autres que sanitaires (alimentaires, climatiques) aient été levées. Mais il s'agit là de cas particuliers, qui demandent des études complètes au préalable et engagent la politique de développement de l'élevage des Etats.

Innovations en matière de pathologie infectieuse

L'élevage au Sahel a longtemps été dominé par une pathologie entraînant, sur des organismes souvent débilisés par le climat et la sous-nutrition, des pertes considérables.

En élevage bovin, par suite des difficultés à atteindre les animaux, les soins curatifs individuels restent exceptionnels et la pathologie infectieuse et contagieuse est dominée par la nécessité de poser des diagnostics rapides et fiables qui permettent des études épidémiologiques solides (importance économique de la maladie, fréquence, modalités de transmission, animaux vecteurs et réservoirs) et de construire une prophylaxie médicale, base de toute action en élevage au Sahel.

Or la réalisation des diagnostics et des vaccinations se heurte aux particularités des systèmes de production sahéliens dont les principales contraintes tiennent au mode d'élevage et au milieu.

Les animaux à la recherche permanente de l'eau et du pâturage sont en mouvement incessant et peuvent se trouver concentrés en grand nombre sur les mares importantes ou les forages.

Par ailleurs, les animaux sont pour la plupart commercialisés sur pied dans des marchés qui drainent les animaux d'immenses régions.

Concentration et mouvement sont deux facteurs explicatifs de l'apparition, de la propagation et de l'explosion des épizooties.

Les distances à parcourir entre poste vétérinaire et animal sont énormes et les voies de communication rares ou très mauvaises, voire impraticables en saison des pluies.

C'est la durée des trajets jointe à une température extérieure très élevée qui ont imposé la mise au point de diagnostics simples et rapides et de vaccins à longue durée.

Tout allongement de la durée d'immunité diminue d'autant le nombre d'interventions ; toute thermorésistance abaisse le coût de la chaîne du froid et ses contraintes ; toute association vaccinale permet de garder le même coût d'intervention que pour vacciner contre une seule maladie. L'analyse des coûts d'une campagne de vaccination à grande échelle montre que la valeur du vaccin représente la moitié environ des coûts totaux.

Nous illustrerons notre propos par le cas de la peste bovine. La durée de l'immunité a été considérablement augmentée. Vers 1955, le vaccin gélosé aluné donnait une immunité de 6 mois à 1 an. Les vaccins sur chèvre puis sur culture cellulaire utilisés à partir de 1964 au Sahel donnent une immunité correspondant à la durée de vie de l'animal.

La mise au point puis l'utilisation d'un clone thermorésistant ont permis de conserver du vaccin dans du sable mouillé et, avec l'utilisation du sulfate de magnésium molaire pour la reconstitution du vaccin, la sécurité d'utilisation a considérablement augmenté en diminuant les coûts.

Enfin, la mise au point en 1969 d'un vaccin mixte contre la peste et la péripneumonie bovine a permis de diminuer les coûts en même temps qu'on pouvait entreprendre une vaccination de masse contre cette dernière, la faisant à l'époque disparaître du Tchad. Dans le même temps (1968), un vaccin mixte intitulé "Polavia", qui vaccinait contre la maladie de Newcastle, la variole et la typhose, était utilisé chez les volailles en Afrique centrale.

La difficulté d'acheminer les prélèvements par suite des distances, de la chaleur, du manque de transporteurs impose une simplification, une rapidité et une fiabilité

des diagnostics d'autant plus nécessaires que les délais de mise en place de la prophylaxie *ad hoc* sont longs et que les animaux toujours en mouvement dissémineront la maladie. Le propos n'est pas ici de citer toutes les améliorations du diagnostic réalisées pour chaque maladie infectieuse. Disons que les tests sérologiques ont été progressivement améliorés et que des kits de diagnostics (ELISA) seront distribués sous peu (peste bovine, péripneumonie bovine). Les travaux actuels s'orientent vers la mise au point de sondes nucléiques froides qui permettront de décentraliser le diagnostic et de le rapprocher de l'animal, alors qu'actuellement seuls les laboratoires nationaux des capitales sont capables de réaliser des diagnostics lorsque les vicissitudes du transport auront permis au prélèvement d'y arriver dans un état correct.

Innovations en matière de reproduction bovine

Trois innovations majeures récentes en matière de reproduction ont marqué l'élevage bovin. Elles sont transférées ou potentiellement transférables aux zones sahéliennes.

Le suivi de reproduction

Le suivi de reproduction est un suivi de troupeau limité qui étudie deux populations-cibles : les génisses et les vaches après le vêlage. Il est basé sur un canevas de visites systématiques et permet la mise à la reproduction précoce des animaux et le dépistage des pathologies.

Les performances de reproduction des bovins sahéliens sont médiocres. Ce résultat peut être interprété comme une adaptation à un milieu difficile, orientée vers la survie du petit et de sa mère. Cela expliquerait les longs intervalles entre vêlages. Les perspectives d'amélioration, en termes de productivité numérique, sont importantes. Cette méthodologie permet une identification et une hiérarchisation des facteurs limitants et la mise au point d'actions stratégiques d'amélioration des paramètres de la reproduction. Par exemple, le retrait du veau pendant 48 heures, 45 jours après le vêlage, relance la cyclicité de la mère; ceci devrait être testé en zones sahéliennes.

L'insémination artificielle

L'insémination artificielle n'est pas une innovation récente. Chaque année, 75 à 100 millions de vaches sont inséminées dans le monde et moins de 1 million en Afrique intertropicale, principalement en Afrique de l'Est. Son développement en zones sahéliennes est limité à quelques essais expérimentaux ayant généralement pour objectif le métissage des races locales avec des génotypes exotiques améliorateurs.

Les résultats d'inséminations artificielles rapportés en Afrique sont souvent médiocres : 25 % environ. Ils soulignent le nécessaire effort de recherche sur la physiologie de la reproduction des bovins autochtones et pour l'adaptation aux conditions locales des schémas d'intervention. Le recours à la synchronisation des

chaleurs est probablement, et malgré son coût, une solution de choix au moins dans une phase initiale.

Cette technique a d'abord été utilisée, y compris en Afrique, pour la prophylaxie sanitaire des maladies sexuellement transmissibles.

Une banque de semences est une solution de choix pour la conservation génétique. La semence des taureaux locaux est rarement collectée et conservée, et il n'y a pas de banque de semences pour les bovins sahéliens. La FAO essaie d'y remédier en organisant un programme de conservation génétique autour de deux banques régionales pour l'Afrique : Dakar et Addis-Abeba.

Le croisement avec des races importées est l'unique application de l'insémination artificielle en zones sahéliennes. Il permet la production, en particulier en zones périurbaines, de métis de races laitières.

L'insémination artificielle a été l'outil majeur d'amélioration génétique des bovins des zones tempérées. Cette technique autorise en particulier le contrôle sur la descendance et les échanges de matériel génétique. Cette application pourrait être utilisée, selon des modalités spécifiques à définir, en zones sahéliennes.

Le transfert d'embryons

Il s'agit d'une technique plus récente. Son utilisation en Afrique est très limitée, au mieux quelques centaines de veaux sur le continent et aucun en zones sahéliennes. Les résultats des essais de transfert d'embryons menés sur le continent sont médiocres : 0,5 veau né par donneuse traitée. Ils soulignent également le nécessaire effort de recherche sur la physiologie de la reproduction des bovins autochtones et l'adaptation aux conditions locales des schémas d'intervention.

Cette technique est utilisable dans les cas suivants.

- Les échanges internationaux. L'embryon est facilement transportable, adaptable et offre une bonne garantie sanitaire, fondamentale pour les zones d'échanges à pathologies graves et variées. L'embryon est un matériel propre. Son introduction ne présente pas de risque sanitaire pour un pays qui a su obtenir et maintenir un cheptel sain. A ce titre, il peut constituer le seul matériel génétique exportable d'une zone incertaine au point de vue sanitaire.

- La conservation génétique. Le stockage d'embryons est probablement l'outil de conservation le plus souple et le plus opérationnel. Cette technique présente quelques avantages par rapport au stockage de semences ; en effet, elle associe une grande sécurité sanitaire à une logistique légère et les embryons sont des entités génétiques complètes (2n chromosomes).

- La génétique animale. Le recours intensif au transfert d'embryons dans les programmes de sélection permet une accélération du progrès génétique, mais cette technique ne peut se substituer, au moins dans une première phase, à un schéma de sélection classique. Le transfert d'embryons est un outil remarquable de diffusion du matériel génétique, beaucoup plus rapide qu'un croisement d'absorption. Enfin, l'analyse génétique des familles peut recourir avec bonheur au transfert d'embryons, cette technique permettant d'augmenter le nombre de descendants d'un couple.

L'utilisation des espaces pastoraux

Gestion des ressources pastorales

Il y a un demi-siècle, les responsables de la production animale estimaient par empirisme qu'il fallait sous les tropiques autant d'hectares par bovin qu'il y avait de mois de saison sèche (9 à 10 au Sahel). L'augmentation du cheptel sahélien allait alors de pair avec l'ouverture de nouveaux parcours de saison sèche, grâce à une politique d'hydraulique pastorale active et ambitieuse. L'espace pastoral semblait illimité, les limites territoriales étaient méconnues et les transhumants descendaient sans restriction vers les terroirs agricoles en saison sèche et remontaient en saison des pluies avec le front de verdure, en arrière de l'installation des pluies.

Au cours des 20 dernières années, la diminution des pluies a accentué la rupture entre charge en cheptel et ressources pastorales, entraînant des transhumances désordonnées et exceptionnelles, accompagnées d'une mortalité du bétail et des animaux de bât ainsi que d'une vente démesurée et à bas prix du cheptel au profit de paysans et de citadins. A cette diversification des détenteurs de bétail, s'est opposée une sédentarisation forcée par manque de moyens de transport d'une partie et même parfois de la totalité du groupe familial. Seuls quelques adultes accompagnent maintenant du bétail sur le circuit traditionnel de transhumance, dans le but essentiel d'y maintenir leur droit de pacage.

L'espace pastoral apparaît désormais cloisonné par les frontières, troué par des taches imposantes de terrains stérilisés par ensablement ou décapage, parsemé de sites de sédentarisation à partir desquels les défrichements pour les cultures font tache d'huile, et ponctué de forages à fort débit où des milliers de têtes de bétail peuvent créer de nouveaux foyers de détérioration du couvert végétal.

Face à cette situation, recherche agronomique et développement ont à œuvrer de pair et coordonner leurs activités.

Préciser la vocation de chaque terroir

Le Sahel n'est plus un espace à vocation pastorale exclusive. Des plans directeurs nationaux doivent être établis pour préciser la vocation préférentielle de chaque terroir. Leur réalisation suppose une enquête pluridisciplinaire où concourent :

- un pédologue spécialiste de l'état superficiel des sols et de la géomorphologie, prenant particulièrement en compte l'état de conservation de l'horizon supérieur du sol : stable, décapé, éolisé, enfoui... ;

- un écologue agropastoraliste, spécialiste de la typologie des groupements végétaux sahéliens, de leur faciès de substitution, ainsi que de leurs potentialités pastorales ;

- un forestier spécialiste des essences forestières sahéliennes, de leurs potentialités et de leur gestion, ainsi que des techniques de stabilisation et de reboisement des dunes ;

- un agronome spécialiste d'agriculture oasienne et particulièrement d'agriculture sous épandage de crues et utilisation des eaux de ruissellement ;

- un hydrologue chargé d'établir une carte des potentialités en eau de surface et de profondeur, en précisant leur disponibilité, leur débit et leur coût relatif ;

- un spécialiste en télédétection, pouvant traduire sur documents cartographiques l'ensemble des thèmes élaborés par les spécialistes précédents ;

- un géographe spécialiste en sciences humaines, chargé de localiser les terroirs respectifs des divers groupes humains, leurs droits d'usage sur les points forts de l'espace (points d'eau, cures salées), les parcours et les terres de culture.

Hierarchiser les priorités

Ce schéma directeur permettrait de hiérarchiser les priorités du développement :

- pôles de sédentarisation où doivent confluer des actions complémentaires : garantie de la permanence de l'approvisionnement en eau pour la collectivité et ses troupeaux ; sécurisation d'une production agricole par irrigation d'appoint, endiguement du ruissellement et des crues (retenues temporaires en cascade) ; intensification fourragère associée aux productions agricoles, restauration des parcours en situation de protection des terres agricoles et des sites résidentiels, mise en réserve de parcours en vue de la pleine saison sèche avec protection contre les feux courants ; classements forestiers de périmètres de protection avec travaux adéquats et classements de reboisement pour des essences à fins multiples et pour la régénération naturelle du gommier ;

- recensement des aires de transhumance de saison des pluies où l'extension des cultures pluviales devrait être limitée et où les ressources d'abreuvement en eau de surface pourraient être complétées par des retenues d'eau temporaires ;

- délimitation de territoires desservis par des points d'abreuvement à fort débit, à exhaure améliorée et même motorisée, susceptibles d'accueillir en saison sèche des groupes de transhumants, leurs familles et leur cheptel ; élaboration d'un cahier des charges pour la communauté partie prenante afin de respecter la capacité en bétail (ce qui suppose le suivi de l'évolution du potentiel des parcours desservis), de contribuer à la protection contre les feux et aussi de participer au fonctionnement, voire à l'entretien du point d'eau ;

- délimitation dans l'espace vacant, mais pouvant empiéter sur des aires de transhumance, là où le coût de l'eau est prohibitif, de réserves de faune et d'aires de détente et de tourisme, à l'instar de qui se réalise hors Sahel et particulièrement en Arabie Saoudite.

Réorganiser le cadre institutionnel

L'amélioration de la gestion de l'espace sahélien suppose également que le cadre institutionnel soit réorganisé vers une certaine décentralisation :

- pour l'application des réglementations (code forestier pour les classements de protection et de reboisement, respect des cahiers des charges pour les gros forages) ;

- pour la bonne utilisation du matériel collectif de protection contre les feux (entretien de pare-feu et moyens d'intervention), ainsi que de restauration de parcours et d'aménagements de récupération des eaux de crue ;

- pour la collecte, le conditionnement et la distribution en temps opportun de semences et de produits phytosanitaires.

Associations pastorales

Au cours des deux dernières décennies, le besoin de réorganisation des populations vivant en zone pastorale du Sahel est apparu de plus en plus aigu. Les nouvelles conditions d'environnement, issues en particulier de la fragilisation des

ressources consécutive aux déficits pluviométriques répétés, allées à l'accroissement des populations humaines et animales, ont rendu de plus en plus précaires les conditions de vie.

Afin de venir en aide à ces populations, les gouvernements des pays du Sahel, rapidement soutenus par une assistance financière extérieure, mirent progressivement en place des opérations de "secours d'urgence", qui visaient avant tout la survie des hommes (distribution de vivres et mise à disposition de médicaments) et celle de leurs animaux (opérations "sauvetage du cheptel").

Les diverses formes de distribution de ces secours, toujours lourdes et complexes en raison de l'immensité des distances et de l'extrême dispersion des bénéficiaires, firent apparaître très rapidement la nécessité d'une organisation territoriale afin de les rendre à la fois plus efficaces et moins difficiles.

En dehors des périodes des aides d'urgence, le besoin d'organisation resta une priorité, notamment pour l'approvisionnement, le stockage et la distribution des produits de nécessité, car les variations de leurs cours dans l'espace (entre la capitale, les villes et les pâturages les plus reculés) et dans le temps (après la récolte et en fin de saison sèche) sont considérables. A partir de ce besoin central, le cadre de l'organisation s'élabora peu à peu, à la fois au plan géographique (l'aire "unitaire" concernée aurait des limites, même si elle était parfois immense) et social (les populations "associées" devaient être aussi affines que possible).

De cette organisation ont découlé les structures des associations et unités pastorales.

La nécessité de responsabiliser l'éleveur

Le concept d'association pastorale (aussitôt lié à celui d'unité pastorale) est né, dans les années 70, de la nécessité de responsabiliser l'éleveur, quels que soient sa zone agro-écologique ou son système de production.

- En zone pastorale sahélienne, l'évolution structurelle des activités de production animale et des modalités d'exploitation du milieu est due à l'aggravation de la concurrence, entre pasteurs, pour l'espace pastoral, consécutive à l'arrivée continue de nouveaux exploitants dans cette zone. En même temps, la surface pastorale disponible tendait à se réduire sous le double effet de la sécheresse (avancée du désert vers le sud) et de la croissance démographique (progression vers le nord du domaine cultivé).

Contrairement à l'état antérieur (c'est-à-dire avant 1950), où les modes d'exploitation, en zone pastorale sahélienne, étaient caractérisés par un excédent de la production fourragère spontanée presque permanent (sauf les très mauvaises années, de l'ordre de une par décennie), l'après-1968 vit s'installer un déficit de production fourragère presque permanent, sauf les très bonnes années pluviométriques.

Désormais, et depuis 1968, les besoins d'affouragement des animaux paissant dans la zone pastorale, évalués à un niveau permettant une réelle production, et pas seulement la survie, sont fréquemment plus importants que la production fourragère spontanée disponible.

- En zone agropastorale et agricole, l'aggravation de la concurrence pour l'espace entre agriculteurs et éleveurs est le résultat de la forte croissance démographique et donc d'un besoin de nouvelles terres à cultiver. Ce phénomène a pu être accentué par la baisse des rendements de l'agriculture due à la diminution de la durée des jachères et à l'épuisement des sols. Le besoin de terres se traduit par la réduction non seulement des jachères, mais aussi des espaces interstitiels

séparant les terroirs ; or, c'était là, à côté des résidus agricoles, que se trouvèrent les principaux pâturages disponibles dans cette zone.

● A l'échelle des systèmes de production animale, on note une forte croissance numérique du cheptel, liée à la croissance démographique et à la demande urbaine. L'augmentation du nombre de têtes de bétail est aussi, aux yeux des éleveurs, le seul moyen accessible pour tenter de compenser les pertes de productivité – principalement en lait, leur aliment de base – consécutives au mauvais état de leurs animaux. Celui-ci tient aux mauvaises conditions d'affouragement, avec la surcharge relative des parcours. Il faut enfin compenser les pertes de valeur marchande des animaux amaigris en période de soudure.

On assiste donc à une convergence massive des facteurs de surcharge des parcours : réduction, d'origine climatique, du disponible fourrager global, et nécessaire augmentation du nombre de têtes, qui entraînent une baisse de la productivité du cheptel, et donc une régression du niveau de vie des éleveurs et l'affaiblissement de leur capacité à réagir.

En outre, ce processus s'accompagne des risques très graves de dégradation de l'environnement qu'apporte avec elle la surexploitation des ressources naturelles.

Comme les conditions écoclimatiques (fragilité et faible capacité de récupération des facteurs du milieu naturel) et socio-économiques (capacité d'investissement inexistante et adaptabilité technique marginale) ne permettent pas d'envisager l'amorce de processus d'intensification qui permettraient, peut-être, de rompre cette évolution en spirale, on a imaginé que la "responsabilisation" des éleveurs sur leur environnement pourrait endiguer ce processus.

Cette responsabilisation passait par la création d'associations pastorales, rendant aux exploitants le bénéfice – ou les inconvénients – des soins qu'ils apporteraient à veiller au bon état de conservation du milieu naturel qu'ils exploient.

Selon ce concept, on envisageait d'attribuer à un groupe d'éleveurs (l'association) les droits d'exploiter une aire donnée de pâturages (l'unité) ainsi que les points d'eau correspondants ; l'ensemble recouvrant les concepts d'unité et association pastorales.

L'unité devait être telle que les éleveurs puissent y trouver, dans les conditions pluviométriques "normales", la production fourragère nécessaire à l'alimentation de leur cheptel. Ce dernier devait correspondre, dans la mesure du possible, à un effectif tel qu'il leur permette d'avoir un niveau de vie décent, tout en restant compatible avec la production fourragère spontanée probable.

Au plan social, l'association pastorale devait, de son côté, rassembler des groupes ayant déjà des traditions de bonne entente et se voir dotée d'une organisation structurée.

Les difficultés de réalisation

De nombreuses études, certaines suivies de réalisation (Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Tchad), ont été menées autour de ce concept. L'IEMVT y a participé dès l'identification et pendant plusieurs années ensuite.

Les résultats obtenus dans la pratique n'ont pas toujours eu les effets que l'on pouvait escompter. Par exemple, les nombreuses études, très détaillées, menées dans la zone centre-est du Niger, ont fait apparaître les difficultés et les effets en cascade de certaines stratégies.

Les principales difficultés rencontrées lors de la mise en œuvre des associations et unités pastorales ont été de plusieurs ordres :

- D'ordre juridique et foncier.

Comment restreindre à un nombre limité d'éleveurs la jouissance, sinon la

propriété, d'un territoire pastoral jusque-là "ouvert" sans léser les intérêts de ceux qui, traditionnellement, y faisaient paître leurs troupeaux ?

Comment attribuer à un groupe déterminé des points d'eau, construits sur financement national, donc de statut public, jusque-là utilisés de plein droit par des éleveurs non intégrables au groupe récipiendaire ?

- D'ordre écoclimatique.

En raison de la grande variabilité de la pluviométrie, dans l'espace, quelle stratégie alternative – et viable, c'est-à-dire acceptable par les groupes voisins – adopter pour la sauvegarde du bétail en cas de production fourragère notablement insuffisante dans l'aire de l'unité pastorale attribuée à l'association, alors que les unités voisines ne sont pas aussi gravement déficitaires ?

Quelle stratégie proposer en cas de pénurie généralisée touchant une très vaste région ?

- D'ordre technique.

Comment inciter les éleveurs à limiter la croissance des troupeaux de l'association à un nombre compatible avec la production fourragère de l'aire de l'unité, utilisable sans risque de dégradation du milieu ? Cela en sachant que la tendance à rechercher l'augmentation du nombre d'animaux est justifiée par le souci de satisfaire les besoins fondamentaux, de préserver le niveau de vie et le propre accroissement démographique du groupe.

Ces quelques difficultés rencontrées montrent que le problème est très complexe.

Du fait de cette complexité, il est encore trop tôt pour savoir si les associations pastorales vont réussir. Il n'est, par contre, pas trop tôt pour dire que c'est certainement la seule issue possible pour les zones pastorales. Même si, pour l'instant, le succès reste hypothétique, ne rien faire ne pourrait qu'entraîner de nouvelles difficultés, voire des catastrophes.

Une nouvelle approche de l'élevage camelin

Le dromadaire : un oublié des circuits de développement

Outil majeur dans l'approche militaire des populations nomades sahélo-sahariennes au cours de la première moitié du XX^e siècle, le dromadaire n'a guère suscité l'intérêt des développeurs lors de la mise en place des grands programmes d'encadrement des zones pastorales. Apánage de populations dont le mode de vie ne facilitait pas le contact, il ne souffrait d'aucune des épizooties qui rendaient vitale la collaboration avec les équipes de vaccinateurs. La plus totale incompréhension prévalait dans l'établissement des rapports entre les éleveurs de camelins et l'administration de l'élevage dont les agents, culturellement très éloignés des nomades, ne retenaient du dromadaire que son caractère rétif. Ainsi, pendant quarante ans, le dromadaire n'a d'aucune façon profité du développement de l'encadrement dont a bénéficié l'élevage sahélien (figures 1 et 2).

Un regain d'intérêt

Seuls, pendant cette période, quelques scientifiques se sont intéressés au dromadaire comme modèle expérimental pour étudier l'adaptation physiologique des

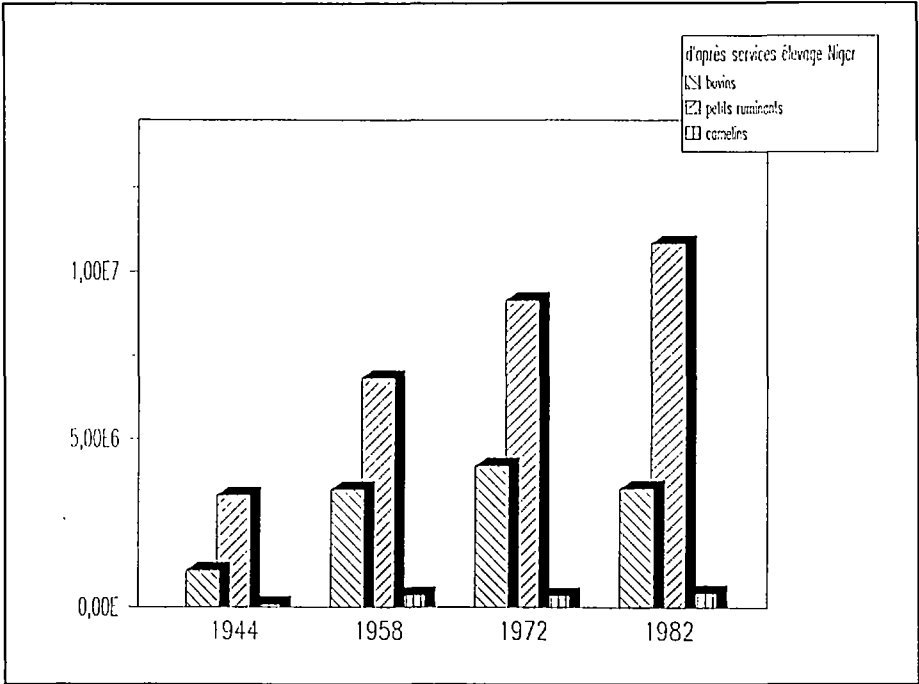


Figure 1. Evolution des effectifs de ruminants domestiques au Niger.

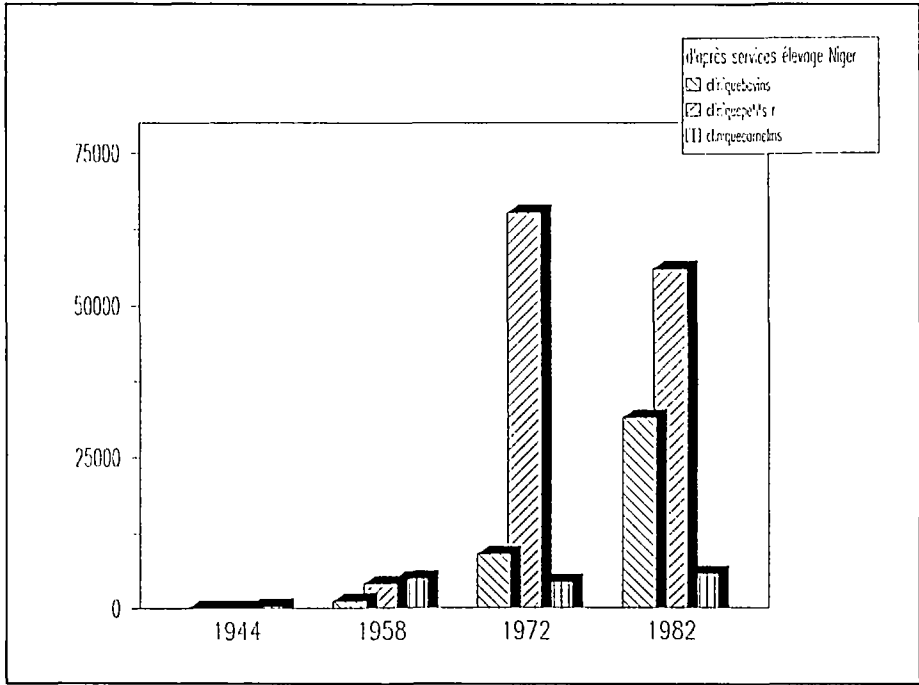


Figure 2. Evolution du nombre d'interventions cliniques au Niger.

animaux aux conditions de survie dans les zones les plus arides. Aux efforts de ces biologistes se sont joints, dans les années 70, ceux des zootechniciens et des pathologistes, qui ont cherché à valoriser des techniques d'investigation mises au point sur les bovins et sur les petits ruminants.

Mais il a surtout fallu attendre que les éleveurs eux-mêmes, à la faveur d'épisodes de sécheresse dramatiques, prennent conscience de la pérennité de l'élevage camelin à travers les aléas climatiques pour que le dromadaire sorte de l'oubli des développeurs. Indéniablement, cette innovation est à mettre à leur crédit.

C'est ainsi, sous l'influence double des scientifiques mettant en valeur ses capacités de production et des éleveurs soulignant son pouvoir de survie, que le dromadaire a commencé à intégrer les programmes de développement des zones sahélo-sahariennes.

La place du dromadaire dans la production

L'intérêt majeur des productions camelines réside dans la valorisation des zones écologiques les plus éloignées des points d'eau, dont le dromadaire, seul, peut exploiter la végétation sans la détruire (YAGIL, 1985). Il représente à ce titre un des éléments permettant d'éviter l'abandon de cet environnement hostile par les populations pastorales. En revanche, les schémas de production intensive ne justifient le recours au dromadaire que pour des raisons culturelles (préférence alimentaire pour le lait de dromadaire, par exemple) ou économiques (pénurie et cherté des viandes bovine, ovine ou caprine).

Par sa capacité à fournir du travail, il met en relation les zones agricoles et oasiennes : céréales et sucres sont échangés contre dattes et sel par l'intermédiaire de caravanes toujours très actives vers les zones d'accès impossible par les véhicules motorisés. Il est également utilisé comme animal de bât sur des périmètres plus courts et encore très largement comme moyen de transport personnel. Sa force de traction est peu exploitée dans le Sahel.

En produisant pendant 12 mois 2 à 6 litres de lait par jour, indépendamment de longs intervalles entre abreuvements, le dromadaire assure la couverture des besoins en protéines, en calcium et en vitamine C de l'éleveur et de sa famille, parfois au détriment du chamelon.

Depuis une dizaine d'années, la viande de dromadaire est proposée sur les différents marchés sahéliens. De prix inférieur à celle des bovins et des petits ruminants, elle a pris une part de marché croissante à la faveur des pénuries de viande bovine pendant les épisodes de sécheresse (cf. statistiques de l'abattoir de Farcha, au Tchad) et de la baisse du pouvoir d'achat des populations urbaines.

Ses poils sont utilisés mais sa peau donne un cuir de qualité médiocre.

Quatre innovations pour l'élevage camelin

Tous les pays sahéliens abritant une population cameline significative ont, dans les cinq dernières années, sollicité l'aide bilatérale ou multinationale pour mettre en place des opérations d'encadrement des troupeaux camelins. Plusieurs projets sont actuellement en cours ou en gestation, mais même le plus ancien n'a pas un recul suffisant pour que l'on puisse profiter de son expérience. Quant à la recherche, elle a à ce jour trop privilégié l'approche en station ou à l'abattoir pour que l'impact des améliorations qu'elle propose puisse être connu.

En fait, encadrer et étudier l'élevage camelin aboutit à quatre innovations dans l'approche de l'élevage sahélien.

- S'intéresser prioritairement aux nomades : toute intervention en milieu traditionnel n'a de chance de réussir que si le récipiendaire, à court ou à moyen terme, en effectue lui-même la demande. Comment sensibiliser les populations pastorales à l'intérêt d'améliorer leur élevage camelin sinon en restant à l'écoute de leurs problèmes, disponible (mobile), puis en s'efforçant d'objectiver leur demande ?

- Privilégier l'approche scientifique dans le milieu naturel : la productivité réelle de l'élevage camelin et son économie restent ignorées ; elles doivent être comparées avec celles des autres espèces domestiques dans des systèmes pastoraux identiques.

- Planifier les actions à long terme : le cycle de productivité des camelins est quatre à six fois plus long que celui des petits ruminants. Des résultats ne peuvent être obtenus à court terme.

- Conserver un équilibre naturel entre un milieu très fragile et le dromadaire : intensifier la production sans intervenir sur l'environnement des troupeaux reste utopique ; tout schéma d'amélioration productiviste privilégiera les actions contre les pertes (très élevées entre 0 et 1 an).

L'avenir de l'élevage camelin est fortement lié à celui des sociétés pastorales des zones les plus arides. Ne pas encadrer les troupeaux traditionnels revient à abandonner ces régions, premier pas vers la désertification. Transformer le dromadaire, traditionnellement producteur de travail, en un animal producteur de lait et de viande doit s'effectuer en privilégiant ses capacités d'exploitation "douce" des parcours les plus pauvres.

Bibliographie

Innovations de la recherche en matière d'alimentation des ruminants

BILLE J.C., 1977. Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. Paris, ORSTOM, 82 p. (coll. Travaux et documents, n° 65).

BOUDET G., 1984. Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. 4^e éd. Maisons-Alfort, IEMVT, 266 p.

CALVET H., PICART P., DOUTRE M., CHAMBRON J., 1965. Aphosphorose et botulisme au Sénégal. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 34 (2) : 211-220.

CHARRAY J., COULOUMB J., PLANCHENAULT D., PUGLIESE P.L., 1980. Les petits ruminants d'Afrique centrale et d'Afrique de l'Ouest : synthèse des connaissances actuelles. Maisons-Alfort, IEMVT, 317 p.

DENIS J.P., THIONGANE A I., 1978. Influence d'une alimentation intensive sur les performances de reproduction des femelles zébus Gobra au CRZ de Dahra. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 31 (1) : 85-90.

DIALLO M.C.B., 1990. Etude de la composition botanique du régime alimentaire des ruminants domestiques exploitant des parcours agropastoraux du Sénégal par analyse histologique des fèces : effets de la technique de conservation et de la centrifugation des fèces. Reprod. Nutr. Dév., suppl. 2 : 211-212.

DICKO M.S., SANGARE M., 1984. Le comportement alimentaire des ruminants domestiques en zone sahélienne. In : Second International Rangeland Congress, Adelaïde (Australia), 13-18 May, 1984, 8 p.

DUMAS R., COULOMB J., 1978. Les possibilités de la production de viande en Afrique tropicale. Tome 1 : Synthèse. Tome 2 : Annexes et bibliographie. Maisons-Alfort, IEMVT, 45 p. et 280 p.

FRIOT D., CALVET H., 1971. Etude complémentaire sur les carences minérales rencontrées dans les troupeaux du Nord-Sénégal. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 24 (3) : 393-407.

GUERIN H., 1987. Alimentation des ruminants domestiques sur pâturages naturels sahéliens et sahélo-soudaniens : étude méthodologique dans la région du Ferlo au Sénégal. Thèse de docteur-ingénieur, ENSA, Montpellier, 211 p.

GUERIN H., FRIOT D., SALL C., 1990 a. Complémentation de zébus en croissance issus de l'élevage pastoral sahélien : performances, rentabilité au Sénégal. In : 41^e réunion annuelle de la Fédération européenne de zootechnie, Toulouse (France), 9-12 juillet 1990.

GUERIN H., RICHARD D., FRIOT D., MBAYE N., 1989. Composition botanique du régime alimentaire des ruminants domestiques exploitant des parcours naturels et agropastoraux du Sénégal. In : XVI^e Congrès international des herbages, Nice (France), 4-11 octobre 1989. Association française pour la production fourragère, tome II, p. 1081-1082.

GUERIN H., RICHARD D., FRIOT D., SALL C., 1990 b. Complémentation des ovins en croissance sur des parcours pastoraux et agropastoraux d'Afrique tropicale sèche. In : 41^e réunion annuelle de la Fédération européenne de zootechnie, Toulouse (France), 9-12 juillet 1990.

GUERIN H., SALL C., FRIOT D., AHOKPE B., NDOYE A., 1985. Ebauche d'une méthodologie de diagnostic de l'alimentation des ruminants domestiques dans un système agropastoral : l'exemple de Thyssé à Kaymor Sonkorong au Sénégal. *Cah. Rech.-Dév.*, 9-10 : 60-90.

ITEMVT, 1973. Actes du colloque sur l'embouche intensive des bovins en pays tropicaux, Dakar (Sénégal), 4-8 décembre 1973. Maisons-Alfort, ITEMVT, 322 p.

ITEMVT, 1979. Embouche de zébus arabes sur les polders du lac Tchad. Paris, Ministère de la Coopération, Maisons-Alfort, ITEMVT, 189 p.

ITEMVT-CTA, 1985 à 1990. Elevage et potentialités pastorales sahéniennes. Synthèses cartographiques. Tchad : Les éléments minéraux dans les pâturages naturels, 1985. Niger : Composition chimique des fourrages naturels, 1986. Burkina Faso : Composition minérale des fourrages naturels, 1987. Mali : Teneurs en matières azotées et composition minérale de quelques fourrages, 1988. Sénégal : Composition minérale des fourrages consommés par les ruminants domestiques, 1989. Mauritanie : Valeur alimentaire de quelques fourrages consommés par les ruminants domestiques, 1990. Maisons-Alfort, ITEMVT, Wageningen, CTA.

KLEIN H.D., 1981. Contribution à l'estimation de la production sur pâturage sahélien au Niger. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, 34 (2) : 211-220.

KONE R., GUERIN H., RICHARD D., 1989. Contribution à la mise au point d'une méthode d'étude de la valeur nutritive des fourrages ligneux. In : Séminaire ITEMVT-IRZ sur les fourrages et l'alimentation des ruminants, Ngaoundéré (Cameroun), 16-20 novembre 1987. Maisons-Alfort ITEMVT, p. 789-809 (Etudes et synthèses de l'ITEMVT, n° 30).

LHOSTE P., 1988. Rapport de mission auprès de la Sodefitec (Sénégal). Mission d'appui au volet Elevage, 5-19 octobre 1988. Montpellier, CIRAD-ITEMVT, 52 p.

LHOSTE P., 1990. Les limites de l'intensification de la production bovine par l'alimentation en Afrique centrale et de l'Ouest. In : 41^e réunion annuelle de la Fédération européenne de zootechnie, Toulouse (France), 9-12 juillet 1990.

MILLEVILLE P., COMBES J., MARCHAL J., 1982. Systèmes d'élevage sahéniens de l'Oudalan. Etude de cas. Ouagadougou, ORSTOM, 129 p.

NICHOLSON M.J., 1987. The effect of drinking frequency on some aspects of the productivity of zebu cattle. *J. Agric. Sci., Camb.*, 108 : 119-128.

NOLAN T., CONNOLLY J., GUILLON L.M., SALL K., DIEYE K., GUERIN H., 1989. Le pâturage mixte en conditions tempérées et semi-arides. In : XVI^e Congrès international des herbages, Nice (France), 4-11 octobre 1989. Association française pour la production fourragère, tome II, p. 1101-1102.

PLANTON H., MANDRET G., 1989. Etude des régimes alimentaires d'herbivores sahéniens et soudano-sahéniens par analyse micrographique. In : Séminaire ITEMVT-IRZ sur les fourrages et l'alimentation des ruminants, Ngaoundéré (Cameroun), 16-20 novembre 1987. Maisons-Alfort, ITEMVT, p. 683-694 (Etudes et synthèses de l'ITEMVT, n° 30).

RICHARD D., 1988. Utilisation de l'eau lourde pour l'estimation de la composition corporelle de bœufs peul-peul au Sénégal. *Reprod. Nutr. Dév.*, 28 (suppl. 1) : 187-188.

RICHARD D., GUERIN H., FALL S.T., 1989. Feeds of dry tropics : Senegal. In : Ruminant nutrition : recommended allowances and feed tables. Paris, INRA, London, John Libbey-Eurotext, p. 325-342.

RICHARD D., GUERIN H., FRIOT D., SALL C., 1990 b. Relations between digestible organic matter intake (DOMI) by cattle and their growth in the Sahelian area (Senegal). In : 41^e réunion annuelle de la Fédération européenne de zootechnie, Toulouse (France), 9-12 juillet 1990.

RICHARD D., POUYE B., BLANFORT V., AHOKPE B., 1990 a. Identification d'un espace homogène utilisé par les ruminants dans une zone agropastorale soudanienne (Moyenne Casamance, Sénégal). In : Symposium INRA-SAD et CIRAD-IEMVT : La question des niveaux d'organisation dans les recherches sur les systèmes d'élevage, Toulouse (France), 7 juillet 1990.

RIVIERE R., 1977. Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. Paris, Ministère de la Coopération, 521 p. (Manuels et précis d'élevage IEMVT, n° 9).

SANSOUCY R., 1986. Fabrication de blocs de mélasse-urée. Revue Mond. Zootech., 57 : 40-48.

SERRES H., 1980. Politiques d'hydraulique pastorale. Paris, ACCT, 118 p. (coll. Techniques vivantes).

SERRES H., BERTAUDIERE L., 1979. Essais de distributions discontinues de phosphates naturels dans l'alimentation des bovins tropicaux. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 32 (4) : 391-399.

L'association maraîchage-élevage

BOYER J., ROBERGE G., 1985. Etude écophysiological de la productivité de quelques graminées à haut rendement fourrager cultivées au Sénégal. Influence des conditions matérielles d'exploitation sur les valeurs en matière sèche de la production sur pied et de l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 38 (4) : 320-328.

LECAM P., 1989. Etude du marché de la fane d'arachide en vue de mettre en place un marché du foin de *Panicum maximum* cv. C1 au Sénégal. Mémoire de fin d'études, ISTOM. Dakar, ISRA-LNERV, 94 p.

MANDRET G., OURLY A., GASSAMA I., BABENE D., DIATTA A., 1989. Rapport annuel 1988 du programme cultures fourragères. Dakar, ISRA-LNERV, 80 p.

MANDRET G., OURLY A., ROBERGE G., 1989. Le *Panicum maximum* dans l'association maraîchage-élevage au Sénégal. In : XVI^e Congrès international des herbages, Nice (France), 4-11 octobre 1989. Association française pour la production fourragère, tome II, p. 1325-1326.

MANDRET G., RENARD Y., GASSAMA I., BABENE D., DIATTA A., 1990. Rapport annuel 1989 du programme cultures fourragères. Dakar, ISRA-LNERV, 111 p.

MANDRET G., OURLY A., ROGERGE G., 1990. Intérêt du *Panicum maximum* pour une intensification fourragère au Sénégal. L'association maraîchage-élevage. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 43 (1) : 119-124.

TALINEAU J.C., HAINNAUX G., 1974. Programme d'étude des interactions sol-plantes fourragères en milieu tropical humide. Premiers résultats, interprétations et conclusions concernant le facteur sol. Adiopodoumé, ORSTOM, 72 p.

Une nouvelle approche de l'élevage camelin

- CIHEAM, 1989. Séminaire sur la digestion, la nutrition et l'alimentation du dromadaire, Ouargla (Algérie), 28-29 février-1^{er} mars 1988. *Options Méd.*, A, 2, 187 p.
- COCKRILL W.R., 1984. The camelid. An all purpose animal. *Proceedings of the Khartoum workshop on camels, december 1979. Uppsala, Scandinavian Institute of African Studies*, vol. 1, 544 p.
- GAUTHIER-PILTERS H., DAGG A.I., 1981. The camel. Its evolution, ecology, behavior, and relationship to man. Chicago, The University of Chicago Press, 208 p.
- HIGGINS A., 1986. The camel in health and disease. London, Baillière Tindall, 168 p.
- HJORT AF ORNAS A., 1988. Camels in development. Uppsala, Scandinavian Institute of African Studies, 165 p.
- IEMVT, 1989. Le dromadaire. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, 42 (1) : 1-143.
- OIE, 1987. Les maladies des camélidés. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epizoot.*, 6 (2) : 309-495.
- RICHARD D., HOSTE C., PEYRE DE FABREGUES B., 1985. Le dromadaire et son élevage. Maisons-Alfort, IEMVT, 162 p. (Etudes et synthèses de l'IEMVT, n° 12).
- WILSON R.T., 1984. The camel. London, Longman, 223 p.
- YAGIL R., 1985. The desert camel. Comparative physiological adaptation. *In : Comparative animal nutrition*. Vol. 5. Basel, Karger, 164 p.

Situation du secteur élevage au Mali

**Noumou Diakité
Vétérinaire**

Table des matières

Présentation	167
La situation actuelle	171
La place de l'élevage	171
Les effectifs	171
Les potentialités animales par région	172
Les modes d'élevage	175
Les systèmes de production animale	176
Les effets de la sécheresse	176
Les systèmes pastoraux traditionnels des nomades	177
Les systèmes pastoraux du delta	178
Les systèmes pastoraux de la vallée du fleuve et de la zone lacustre	180
Les systèmes pastoraux liés aux cultures sèches	180
Les systèmes pastoraux de la zone sud du Mali	181
L'intégration agriculture-élevage	182
Organisation des populations pastorales	182
Les coopératives des éleveurs	183
Les associations pastorales	184
Les perspectives du secteur élevage	186
Exploitation et commercialisation du bétail	186
Gestion foncière	188
Groupements organisés	189
Actions d'intensification	189

Présentation

La contribution de Noumou DIAKITE présente un intérêt particulier par rapport aux autres études réunies dans cet ouvrage.

Il ne s'agit pas d'un bilan de résultats de recherche agricole sur une thématique donnée mais d'un bilan diagnostic synthétique du secteur de l'élevage au Mali, où N. DIAKITE a occupé le poste de directeur de l'Opération de développement de l'élevage dans la région de Mopti, pendant plus de dix ans.

La démarche de diagnostic adoptée se situe à l'échelle d'un pays, le Mali, et permet d'éclairer, dans une perspective de développement, un certain nombre de points spécifiques apparaissant dans d'autres contributions.

La diversité des situations

Cette diversité est mise en évidence entre les grandes sous-régions du Mali, qui présentent des différences marquées quant aux possibilités de mise en valeur par l'élevage :

- zones prédésertiques du nord du Sahel, dans les régions de Gao et Tombouctou, où les vallées et dépressions jouent un rôle essentiel dans le maintien de l'élevage après les récentes phases de sécheresse ;
- zone du delta central du fleuve Niger, dont la complexité résulte de l'étroite imbrication de diverses populations combinant des systèmes de production allant du nomadisme "pur" à des systèmes associant étroitement agriculture et élevage ;
- des zones plus méridionales, soudano-sahéliennes, où l'agriculture occupe une place beaucoup plus importante (région de Sikasso...).

Les différents niveaux de complémentarité entre situations agricoles

Les complémentarités s'exercent à des niveaux géographiques différents.

Elles peuvent s'exprimer entre situations géographiquement voisines mais caractérisées par des potentialités et des contraintes relativement contrastées, qui donnent lieu localement à la coexistence de modes de conduite extensifs, ou au contraire plus intensifs, du cheptel en situation soit de concurrence, soit de complémentarité avec l'agriculture.

Mais elles s'affirment surtout entre les zones sahéniennes et les zones plus soudaniennes, où domine l'agriculture, comme le montre N. DIAKITE, qui, traitant de l'élevage sahélien, intègre dans son analyse diagnostic l'ensemble des sous-régions soudaniennes du Mali, et souligne ainsi toute l'importance de raisonner les perspectives de l'élevage sahélien dans un cadre géographique et économique plus global.

La nécessité de démarches globales

La complexité des situations pastorales décrite par N. DIAKITE est manifeste, notamment si l'on considère le problème central que constitue la gestion du foncier pastoral et des ressources qui s'y rattachent. Elle est également perceptible dès

lors que sont abordés les aspects relatifs à l'organisation des populations pastorales, posée dans le contexte du Mali comme "*la condition sine qua non d'un développement à long terme*".

Cette complexité, qui se manifeste à travers les étroites interrelations entre les diverses composantes des systèmes de production, requiert des démarches d'interventions pluridisciplinaires permettant d'aborder de manière globale l'ensemble des problèmes posés aux éleveurs sahéliens, à travers des organisations de producteurs en voie de structuration.

Une telle démarche est illustrée par référence notamment à l'expérience de l'ODEM.

Les récents bouleversements

Les récentes sécheresses ont contribué à modifier profondément les rapports sociaux entre les sociétés pastorales et les autres groupes d'acteurs : commerçants, fonctionnaires, agriculteurs...

Ces bouleversements se traduisent par un appauvrissement généralisé des sociétés pastorales, marquées par des transferts massifs de la propriété du cheptel vers d'autres groupes sociaux, les pasteurs devenant souvent les salariés de ces derniers. Il en résulte des modes de conduite relativement peu soucieux de l'état des troupeaux et des ressources. Cette situation n'est pas sans incidence sur l'avenir des sociétés pastorales dans les régions où l'élevage demeure la seule activité susceptible de valoriser à moindre coût ces vastes territoires dont les ressources sont dispersées et aléatoires dans le temps et dans l'espace.

Le Mali est un pays sahélien qui tire l'essentiel de son économie du secteur primaire. Dans ce contexte, l'élevage joue un rôle important. Il intervient pour environ 17 % du PIB national et représente environ 30 % de la valeur globale des recettes d'exportation.

L'élevage représente également une forte source de devises pour l'Etat, une banque d'épargne pour les agropasteurs, une source de revenu pour certains commerçants et fonctionnaires et enfin la seule richesse pour les vrais pasteurs.

L'élevage fournit par ailleurs la force vive pour la traction animale agricole, avec bien sûr en toile de fond sa participation à l'autosuffisance alimentaire et son apport au secteur industriel.

Mais ce secteur connaît des difficultés et traverse une véritable crise d'expansion ou de développement, phénomène accentué par les effets défavorables de la sécheresse :

- la raréfaction des ressources naturelles, ayant entraîné une mauvaise gestion des terroirs agro-sylvo-pastoraux ;
- la faiblesse de l'apport de l'Etat et le peu d'intérêt des sources de financement, d'où un sous-encadrement du secteur et une faible productivité presque stationnaire ;
- le poids de l'emprise traditionnelle, peu performante et fermée à l'économie de marché dans une sous-région de plus en plus dominée par la viande extra-africaine.

En raison du faible pouvoir d'achat local, l'excédent exploitable est en mesure de servir les pays côtiers pour l'apport de devises.

La situation actuelle

La place de l'élevage

Les effectifs

Les effectifs du cheptel (tableau I) font l'objet de diverses estimations. La base des données relatives à l'importance numérique du cheptel est en général fournie par les indications collectées sur le terrain par les agents du service de l'élevage lors des campagnes de prophylaxie du cheptel.

Tableau I. Evolution de l'effectif des différents cheptels
(bovins, ovins, caprins, équins, asins, camelins) au Mali, de 1977 à 1987.

	Bovins	Ovins et caprins	Equins	Asins	Camelins
1977	4 058 000	8 532 000	130 000	400 000	190 000
1978	4 603 000	8 652 000	133 000	408 000	195 000
1979	4 865 000	9 533 000	135 000	414 000	202 000
1980	4 685 000	11 587 000	77 000	867 000	210 000
1981	6 396 000	12 396 000	152 000	596 000	215 000
1982	6 663 000	12 347 000	77 000	765 000	220 000
1983	5 682 000	11 544 000	79 000	615 000	217 000
1984	4 899 000	10 582 000	61 000	549 000	219 000
1985	4 344 000	9 847 000	55 000	436 000	194 000
1986	4 475 000	10 340 000	67 000	383 000	144 000
1987	4 589 000	10 529 000	54 000	348 000	187 000

Source : Direction nationale de l'élevage.

L'élevage bovin, qui donne lieu à une série d'interventions de masse, est en général mieux suivi et mieux connu. Le recensement administratif sert pour la base de l'imposition et ne reflète pas du tout les réalités numériques.

Bien que des enquêtes et sondages aient renforcé la qualité des informations, il est admis que les données relatives au secteur doivent être acceptées avec quelques réserves. Une étude complète du cheptel s'impose afin de mieux cerner les données quantitatives et qualitatives du secteur élevage. Seule la zone couverte par l'ODEM a fait l'objet d'investigations importantes (recensement aérien et études au sol).

Le tableau I fait référence aux différentes estimations vétérinaires des effectifs et situe l'évolution sur une décennie.

L'analyse montre partout une nette dépendance des ressources animales vis-à-vis des conditions climatiques naturelles. De façon globale, on observe une stagnation des effectifs du cheptel, surtout bovin.

Ceci s'explique par :

- la raréfaction du potentiel fourrager, qui reste l'apport essentiel de l'alimentation du cheptel ;
- la réduction par mortalité ou par transfert vers d'autres régions ou pays (régions sud, Côte-d'Ivoire, Burkina Faso) d'une partie du cheptel.

Certaines régions font l'objet d'un transfert positif de cheptel par migrations (Ségou, Koulikoro, mais surtout Sikasso).

Les potentialités animales par région

La nomenclature des produits de l'élevage comprend deux catégories : les animaux vivants et les produits d'origine animale.

On retiendra :

- pour les animaux vivants : les bovins, les ovins-caprins, les camelins, les ânes, les équins, les porcins et la volaille ; ils constituent le matériel d'approvisionnement en viande et la force utile pour la traction animale et le portage ;
- pour les produits d'origine animale : viande, lait, cuirs et peaux, laine, œufs, sous-produits (sang, onglons, cornes), et enfin le miel et la cire.

Les productions les plus importantes restent de loin les bovins et les ovins-caprins. Les porcins, estimés à 60 000, jouent un rôle marginal et restent une production importante pour les populations animistes et catholiques des régions de Ségou et Sikasso.

La volaille, estimée à environ 22 millions d'animaux, est un élevage surtout familial, sauf autour des grandes villes où il prend une dimension plus commerciale.

■ Région de Kayes

Elle est caractérisée par un élevage diversifié du nord au sud, avec l'existence d'une zone sahélienne dominante, d'une zone soudanienne fertile et agricole et d'une zone soudano-guinéenne dominée par les monts Mandingues et Tambaoura et les affluents du fleuve Sénégal.

La région de Kayes pratique un élevage transhumant et nomade centré sur les plaines et cuvettes du Kolimbiné-Térékolé et du lac Maguï et un élevage sédentaire en zone sud. La zone centrale du Kaarta fait l'objet d'un agropastoralisme important, obligeant le bétail à transhummer au sud en période de soudure, vers des zones plus propices :

- les parcours le long des cours d'eau du sud (fleuves Sénégal, Bakoye, Bafing, etc.) ;
- le parc national du Baoulé et certaines forêts classées.

L'élevage sédentaire de faible amplitude avec des taurins (Ndama, Baoulé et divers métis) se rencontre surtout dans les cercles du sud (Kita, Kéniéba et Bafoulabé).

La région est encadré par :

- la Direction régionale de l'élevage (décentralisée en secteurs et en postes) ;
- le PRODESO (Projet de développement du Sahel occidental) qui intervient par son volet Kayes-Nord ;
- le volet élevage de l'ODIK (Opération développement intégré du Kaarta).

Le projet sectoriel USAID donne son appui aux différentes structures de la Direction régionale de l'élevage, surtout pour le renforcement de la couverture sanitaire. De même, certaines ONG interviennent dans la région.

■ Région de Koulikoro et district de Bamako

La région est dominée au nord par les plaines liées à la vallée du fossé de Nara. Le nord vit surtout d'élevage transhumant et nomade.

Au fur et à mesure que l'on descend vers le sud, on tombe sur un élevage lié à l'agriculture, élevage sédentaire qui se raréfie dès qu'on touche les zones de forêts galeries, refuges des glossines.

Le district de Bamako imprime à la région de Koulikoro une dynamique spécifique des métropoles de forte consommation.

La région de Koulikoro, en plus des structures classiques du service de l'élevage, reçoit plusieurs intervenants dans le domaine de l'encadrement :

- le PRODESO par son volet Nara-Est ;
 - le volet élevage CMDT dans les zones de production cotonnière (Fana, Doïla, etc.) ;
 - le volet élevage de l'Opération haute vallée, cercle de Kangaba ;
 - le volet élevage du projet Baguineda.
- Le projet sectoriel USAID donne son appui aux différentes structures du service de l'élevage dans cette région aussi.

■ Région de Sikasso

La troisième région possède aujourd'hui plus de 1 200 000 bovins et plus de 580 000 ovins-caprins. C'est la première région en effectif bovin (plus de 26 %), cet accroissement spectaculaire résultant de plusieurs facteurs :

- la descente progressive du "front peul" : déplacement et installation de "troupeaux transhumants" du nord et du centre du pays (surtout la région de Mopti) suite aux sécheresses successives ;
- l'accroissement des troupeaux villageois qui représentent une forme d'épargne et de réinvestissement dans le contexte d'une économie à dominante cotonnière en plein développement ;
- le reflux des troupeaux maliens installés en zone nord de la Côte-d'Ivoire où ils se sont trouvés en situation d'insécurité relative et de concurrence accrue sur les espaces pastoraux disponibles.

Il y a donc en toile de fond les problèmes fonciers, car la région possède aussi une densité de 18 habitants au km², faisant d'elle la deuxième région la plus peuplée du Mali.

Cette région est encadrée par :

- la DRE (Direction régionale de l'élevage), avec les structures classiques d'intervention ;
- le volet élevage de la CMDT, composante très dynamique et disposant de moyens importants d'encadrement et de vulgarisation ;
- le volet élevage de l'Opération thé Farako ;
- l'ONDY (Opération Ndama Yanfolila), basée à Madina Diassa, cercle de Yanfolila, opération axée sur la sélection, la multiplication et la diffusion de la race Ndama.

Elle est principalement dominée par les agropasteurs et l'agro-industrie cotonnière imprime déjà à la zone une dynamique particulière.

■ Région de Ségou

Cette région est dans sa majeure partie dominée par les deux géants de l'agriculture au Mali, l'Office du Niger et la CMDT. Seule la totalité du cercle de Macina, l'extrême nord de Tominian et Niono (Nampala) sont en dehors de leur encadrement.

C'est la région intermédiaire par excellence, qui tire profit à la fois des systèmes sahéliens purs et des systèmes agricoles intensifs et extensifs. C'est aussi une région tampon entre les centres de production et de consommation.

Région charnière, elle est encadrée par :

- la DRE, avec les structures classiques ;
- le volet élevage de l'Office du Niger ;
- le volet élevage de la CMDT.

Plusieurs interventions (projet FIDA, Bambougou N'Oï, PCAN, PFDV, AFVP, FAO, etc.) impriment au secteur une grande dynamique, surtout les cercles de Ségou, Bla et Niono.

La région est dominée par le système agropastoral, avec un mouvement de va-et-vient des éleveurs transhumants du nord.

■ Région de Mopti

Malgré le transfert d'une partie de son cheptel vers les régions sud, la cinquième région reste le berceau à la fois du cheptel transhumant et nomade mais aussi des civilisations pastorales liées au delta intérieur du Niger.

C'est la région par excellence des grandes mouvances cycliques du cheptel autour du delta mais aussi des grandes peuples dogons de production agricole de Séno de Koro-Bankass ou des plateaux de Bandiagara.

L'encadrement du secteur élevage est entièrement assuré par l'ODEM (Opération de développement de l'élevage dans la région de Mopti), qui est identique dans sa décentralisation aux structures classiques du service de l'élevage. L'ODEM intervient en plus dans l'ensemble du cercle de Niafunké et dans les arrondissements de Bambara-Maoudé et Inadiatafane (cercle de Gourma Rharouss).

Le développement étant global, l'ODEM a une approche pluridisciplinaire et intégrée des programmes de développement, avec une forte implication des populations organisées à la base. L'ODEM a l'appui de quelques ONG et institutions (PAM, UNICEF, VSF, Oxfam, AIDE-Canada, etc.).

La complexité de la zone de l'ODEM, la diversité des groupements ethniques et les us et coutumes des populations font que plusieurs systèmes de production se retrouvent, depuis le nomadisme pur jusqu'aux systèmes d'intégration agriculture-élevage. Comme partout, les effets des déficits pluviométriques ont beaucoup perturbé les systèmes pastoraux, surtout ceux liés au delta, avec une exacerbation des problèmes fonciers.

L'ODEM intervient de façon globale selon plusieurs volets :

- santé et production animale ;
- commercialisation du cheptel par le biais des coopératives et des marchés équipés ;
- organisation des populations en associations pastorales et coopératives ;
- aménagement des pâturages et hydraulique pastorale (bourgouculture, cultures fourragères, équipement des forages, puits pastoraux) ;
- santé humaine et alphabétisation fonctionnelle...

■ Région de Tombouctou

Cette région comprend :

- une zone lacustre importante dans le Haoussa, composée des lacs Tanda, Takadji, Karaba au sud, des lacs Fati, Télé, Oro au centre et des lacs Faguibine et Kamango au nord ;
- une zone lacustre liée au Gourma comprenant la chaîne des lacs Haribomo, Garou, Niangaye, Aoungoudou ;
- une zone située sur la rive gauche comprenant le Haoussa, l'Azawad et les différentes vallées fossiles et désertiques qui se prolongent au-delà du bassin de Taoundénit ;
- une zone située sur la rive droite, communément appelée Gourma, dominée par les dunes de sable, les espaces interdunaires, les grandes mares et les brousses tigrées typiques du Sahel. Le Gourma se termine à l'est par la frontière du Burkina Faso et au sud par la région de Mopti.

Les effets de la sécheresse ont été terribles dans l'ensemble de la région. L'essentiel de l'élevage bovin a été transféré dans le Gourma ou dans la région de Mopti. L'organisation de la vie est axée essentiellement sur la vallée du fleuve et les zones lacustres.

L'encadrement du secteur élevage est essentiellement assuré par la DRE, aidée par le projet UNSO zone lacustre et par diverses ONG (Euro-Action-Acord, Vétérinaires sans frontières, etc.). Le Gourma et la vallée du fleuve sont surtout la zone

d'intervention de l'Eglise norvégienne (AEN). Elle intervient de façon globale pour :

- l'organisation des populations ;
- le bourgouculture (mare de Gossi et le long du fleuve) ;
- l'éducation et la santé humaine, etc.

■ Région de Gao

L'Adrar des Iforas dans le cercle de Ménaka et la boucle du Niger donnent à cette région semi-désertique les vrais contrastes de la nature. La région est essentiellement sous le coup des effets de la sécheresse.

Les seules zones d'élevage restent :

- le triangle Ansongo-Ménaka-Talataye ;
- le Gourma lié à la région de Gao ;
- le bassin de Kidal avec sa particularité pastorale ;
- les vallées du Tilemsi, liées au fleuve.

Comme pour la région de Tombouctou, Gao reste tributaire du fleuve, qui règle la vie économique dans la région.

L'encadrement est entièrement assuré par la DRE de façon classique comme les autres régions. En attendant le démarrage du projet agropastoral Mali Nord-Est, la région est soutenue par quelques ONG (Euro-Action Acord, Oxfam, etc.).

Les modes d'élevage

De façon classique, nous retiendrons les modes d'élevage suivants : le nomadisme, la fixation, la transhumance, la sédentarisation.

■ Le nomadisme

Le nomadisme se caractérise par une exploitation pastorale zonale, avec un déplacement de tout le campement pour la conduite des troupeaux. L'amplitude des déplacements est variable ; en général le campement se déplace en fonction des saisons pour exploiter rationnellement :

- les pâturages herbacés et aériens ;
- les points d'eau de surface ou profonds (fleuve, mares, puisards, puits) ;
- les zones de cures salées (terres salées ou natronnées).

Ce mode d'élevage est l'apanage des éleveurs touaregs, berbères et berabiches (Gao, Tombouctou, Mopti), arabes et maures (Kayes, Gao, Tombouctou, Mopti), foulankriabé et guelgodji (Gao, Tombouctou et Mopti). Il se pratique avec les bovins, les ovins et caprins et les camelins. En général, il est constitué de deux troupeaux : un troupeau laitier près des tentes (la production laitière étant autoconsommée) et un troupeau d'élevage plus composite qui fait le déplacement loin du campement. En période de soudure, le campement se fixe autour d'un point pourvu d'eau et de pâturages.

Dans le cadre particulier de l'élevage camelin, il est bon de noter qu'il a pris un essor important depuis les effets néfastes de la sécheresse. En effet, les productions de viande et de lait de l'élevage camelin prennent une place importante dans la consommation des populations. On estime que la viande cameline représente 60 % du total de la consommation dans la région de Tombouctou.

Pour le transport du sel gemme (azalaï), le chameau reste encore l'animal idéal pour les longues distances. Plus de 8 000 tonnes de sel sont ainsi transportées de Taoudénit à destination de Gao, Tombouctou, Mopti, Ségou, de la Mauritanie et du Burkina Faso.

Les camelins sont aussi utilisés comme animaux pour tirer l'eau des puits profonds, alors que les asins le sont surtout pour le transport domestique (dépla-

céments fréquents ou transport de céréales). En effet, les céréales, achetées surtout dans la région de Mopti, sont transportées par des caravanes d'ânes vers les régions de Tombouctou et Gao.

■ La fixation

Faussement dénommée sédentarisation des nomades, la fixation est un passage obligé pour la sécurisation du nomade. En effet, il est difficile de sédentariser une activité comme l'élevage, surtout en zone semi-désertique où pour produire l'éleveur doit se déplacer à la recherche des pâturages et de l'eau.

La zone de fixation, surtout autour d'un point d'eau ou le long du fleuve, est mise en valeur et fait l'objet d'une gestion spécifique. En général, elle est retenue et mise en réserve pour une exploitation en période de soudure. Le campement s'installe dès l'arrivée de cette période et y garde uniquement les animaux productifs (femelles laitières).

La stratégie des points de fixation est une amorce intéressante de dynamique d'organisation des populations en associations pastorales.

■ La transhumance

Typique de la zone sahélienne et spécifique surtout aux groupes peuls, la transhumance est un mode d'élevage très répandu au Mali. Elle consiste en déplacements saisonniers des bergers avec les troupeaux vers les pâturages d'hivernage du nord, puis au sud vers les points de concentration en période sèche et de soudure (points d'eau, fleuves, delta intérieur).

Les troupeaux transhumants ont toujours un point de retour qui est le hameau ou le village d'origine. A la différence du nomadisme, surtout les bergers et les animaux font la grande transhumance. La famille reste au village avec quelques laitières pour l'autoconsommation.

Cette transhumance permet aussi au cheptel : d'éviter et de fuir les zones à risques ; de faire le déplacement pour la cure salée ; de maintenir les échanges traditionnels avec les zones agricoles (vente, troc...).

■ La sédentarisation

Il s'agit du maintien ou de la conduite des animaux dans des pâturages autour du terroir villageois. Les déplacements sont de faible amplitude. C'est une pratique classique des élevages taurins du sud, avec une période de gardiennage serré en saison des pluies (pour éviter les dégâts des champs) et une période néfaste de divagation des animaux après les récoltes en saison sèche.

La sédentarisation de l'élevage demande une mise en valeur du terroir afin de répondre aux besoins d'alimentation des animaux. Ce système est de plus en plus placé sous la dynamique d'une intégration de l'agriculture et de l'élevage.

Les systèmes de production animale

Les effets de la sécheresse

L'intégration de plus en plus rapide de l'élevage et de l'agriculture mais aussi les conflits majeurs (dégâts des cultures, envahissement des zones de pâturages, conflits fonciers, etc.) sont le fruit des sécheresses successives. Ainsi la diversifi-

cation des systèmes de production est la première conséquence des déséquilibres et déficits de production. On constate souvent un bouleversement de la spécialisation rurale mais aussi de l'habitude alimentaire. Sur le terrain, on peut rencontrer :

- des nomades agriculteurs et même pêcheurs consommant de la farine de maïs et même du poisson ;
- des éleveurs peuls devenus paysans pilotes ou commerçants en ville ;
- des jeunes bergers dogons ou bambaras qui parlent le peul avec aisance et qui commencent à pratiquer la transhumance.

La sécheresse a engendré non seulement une paupérisation du monde éleveur mais surtout un transfert de propriété du cheptel vers d'autres nouveaux propriétaires (fonctionnaires, commerçants, agriculteurs, etc.). De propriétaires de troupeaux et bergers, beaucoup d'éleveurs sont devenus de véritables bergers salariés.

Comme le cheptel, la production agricole nationale a subi les effets de la sécheresse. En dehors de quelques zones sécurisées par des aménagements (maîtrise de l'eau), la plus grande partie de la production agricole est sous la dépendance des conditions climatiques. Cette dépendance explique les catastrophes alimentaires et les semis multiples permettant d'espérer une bonne germination.

La moyenne pluviométrique des seize dernières années a été inférieure à la moyenne calculée sur les cinquante dernières années. Ce déficit par réduction, irrégularité et mauvaise répartition des pluies est à l'origine des crises alimentaires et des famines observées un peu partout dans le Sahel.

L'impact de la sécheresse a été différent suivant les zones. Les zones sahéliennes de céréaliculture ont été fortement touchées, les zones sud ont enregistré une baisse quasi générale de la production.

Pour le cheptel, on constate un transfert vers la zone sud. Autant dans la zone du delta qu'en zone sahélienne pure, les pâturages ont été largement insuffisants voire inexistantes. Les poches de pâturages disponibles autour des points d'eau ont été surpâturées et dégradées.

La variation des parcours a été notable un peu partout en zone soudanienne et guinéenne. On note :

- un renforcement des troupeaux villageois par achat direct ;
- une arrivée des Peuls transhumants qui se sont sédentarisés, avec un début d'activité agricole ;
- une présence des Peuls transhumants qui remontent au nord dès les premières pluies.

L'achat des troupeaux du nord a constitué jusqu'à 10 % des effectifs des troupeaux sédentaires contre 3 à 4 % dans le Sahel.

Dans les zones sahéliennes, la surcharge autour des points d'eau en période de soudure et dans le delta a eu des incidences très graves sur la mortalité du cheptel. La mobilité classique de certains éleveurs a été souvent un facteur de survie. Mais dans l'ensemble, tout éleveur sahélien a vu son cheptel décimé.

L'élevage sahélien étant jaloux de son particularisme et de son individualisme, aucune stratégie collective d'ensemble n'a été mise en place pour lutter contre les effets de la sécheresse. Chaque éleveur s'est débrouillé, souvent dans une confusion totale, ceci malgré la solidarité régionale, nationale et internationale qui a permis d'éviter le pire.

Les systèmes pastoraux traditionnels des nomades

Il est de plus en plus rare de rencontrer le nomadisme classique "pur et dur" des grands campements touaregs. En effet, la sécheresse a imprimé un système nomade plus réaliste et sécurisé par la gestion d'une zone de fixation en période

de soudure. Ce système se rencontre surtout chez les groupements pastoraux organisés dans la zone de l'ODEM ou le long du fleuve dans la région de Tombouctou.

Il s'agit d'un système qui vit de l'élevage mais qui, avec l'aménagement des plaines rizicoles, commence à être associé à la riziculture, à la bourgouculture et au maraîchage. En fait, comme dit plus haut, la sécheresse a été le facteur d'intégration au nomadisme des activités de riziculture, de cultures fourragères, de maraîchage et de reboisement, grâce à l'appui des multiples ONG.

En général, ce système pratique un élevage mixte, bovins et ovins-caprins, seules les zones plus au nord vivent de l'élevage camelin.

Les systèmes pastoraux du delta

Dans l'ensemble, avant que des changements interviennent, le delta était caractérisé par un élevage transhumant pur, ayant dès l'origine une dimension sociale forte et homogène.

Le delta est une zone inondable d'environ 18 000 km², composée, du point de vue pastoral, de trois secteurs complémentaires :

- le bas delta avec les plaines inondables du cercle de Djenné et du sud de Tenenkou : ces principales zones à bourgou (*Echinocloa stagnina*) jouent un rôle important dès la réception des animaux dans le delta ;
- le moyen delta, constitué par les principales bourgoutières des cercles de Mopti et Tenankou, joue le rôle de régulateur de la transhumance ;
- le haut delta ou delta terminal, constitué essentiellement par les bourgoutières du lac Débo.

Ces potentialités pastorales (bourgoutières) jouent un rôle important dans la transhumance en cinquième région. En effet le delta est un véritable déversoir de cheptel : environ 900 000 bovins et 500 000 ovins-caprins exploitent bon an, mal an les zones de bourgoutières.

C'est sous l'Empire peul de Macina (en 1818) que fut mis en place le code pastoral qui donne encore à la région de Mopti ses lettres de noblesse pastorales :

- conférences locales et régionales annuelles regroupant toutes les parties concernées par les bourgoutières (responsables politiques, administratifs, techniciens, éleveurs, chefs traditionnels) et qui fixent les règles de gestion du delta : calendrier de retour des bergers et des troupeaux au village ; respect strict de la progression des animaux selon la décrue, déplacement des troupeaux et des bergers dans l'ordre et la discipline ;
- maintien encore par endroit des dioros (responsables traditionnels de la gestion des pâturages).

Traditionnellement, sous la Dina, trois pouvoirs se répartissaient l'eau, le sol et l'herbe. Il s'agit respectivement des Bozos et Somonos (pêcheurs), des Rimaïdés, agriculteurs inféodés aux Peuls, et des éleveurs peuls pour les pâturages. Le manque de crue et de pluie a mis en conflit ces trois pouvoirs régis par le code de la Dina.

Actuellement, les pêcheurs sont devenus cultivateurs et la riziculture anarchique a pris des proportions inquiétantes au détriment des bourgoutières, avec une colonisation du delta par de nouveaux agriculteurs (Bobos, Bambaras). Ainsi, les emblavures en riz, en zones diffuses du delta, sont passées de 14 140 ha en 1984-85 à 45 000 ha en 1987-88 (chiffres de la Direction nationale de l'agriculture).

Dans la zone couverte par l'ODEM, les animaux de traction animale sont estimés aux effectifs suivants :

- bovins : 125 000 paires dont 60 % dans le delta ;
- asins-équins : 8 000 paires dont 80 % composés d'asins.

La charrue lourde et la herse sont utilisées surtout sur des sols lourds, alors que la "houe asine" est surtout utilisée dans le Seno de Koro-Bankass, dans la zone de l'arrondissement de Mougna et un peu dans le Méma.

Les rendements en mil, sorgho et même en riz sont reconnus faibles :

- petit mil : 400 à 800 kg/ha,
- sorgho : 400 à 800 kg/ha,
- riz (zone diffuse) : 500 à 1 000 kg/ha,
- riz (ORM) : 700 à 2 500 kg/ha.

Ces diverses données montrent l'importance de la perturbation des systèmes pastoraux liés au delta. En effet, les dioros, pour la plupart, sont devenus de vrais gestionnaires du foncier traditionnel, autorisant la culture des zones de bourgoutières contre rémunération en nature (récolte) ou en espèces. De même, les principes de la conduite du troupeau ne sont plus respectés comme avant :

- refus de partir en transhumance : les troupeaux restent dans le delta toute l'année (surtout les troupeaux des chefs traditionnels et des commerçants) ;
- refus de scinder les troupeaux en trois parties conformément à la tradition : dumti, 3 à 5 laitières par ménage pour l'autoconsommation en saison des pluies ; bendi, ensemble des laitières exploitées pour leur production au retour de la transhumance ; n'garti, ensemble du troupeau faisant le déplacement.

De même, la multiplication des propriétaires d'animaux joue énormément sur la conduite traditionnelle des troupeaux, ceux-ci étant souvent composites (3 à 5 propriétaires au minimum), et sur l'efficacité de la conduite par des bergers souvent peu motivés.

Malgré l'essor remarquable de la bourgouculture (tableau II), la réduction de la qualité et de la quantité des fourrages est un facteur de contrainte pour la production du cheptel. En effet, certaines bourgoutières ont été détruites pour une riziculture peu performante et aléatoire.

Tableau II. Estimation des superficies régénérées en cultures fourragères dans la zone de l'ODEM avec la participation des populations.

	Cumul de 1981 à 1985 (ha)	Superficie 1986 (ha)	Superficie 1987 (ha)	Superficie 1988 (ha)
Bourgouculture delta + mares	1 249	791	1 371	1 420
Cultures fourragères en zone sèche (dolique, andropogon, macroptylum, etc.)	8	18	50	91
Total	1 257	809	1 421	1 511

La bourgouculture dans le système deltaïque et les zones inondées peut jouer un rôle intéressant, les produits tirés de cette culture étant variables selon la zone et l'exploitation de la parcelle :

- fauche et vente du bourgou sous la forme de foin ;
- allocation de l'espace régénéré après fauchage du bourgou pour la pâture des troupeaux ;
- récolte de la graine comme aliment de soudure au même titre que le fonio sauvage (*Panicum laetum*) ou le cram-cram (*Cenchrus biflorus*) ;
- confection de sirop de bourgou comme substitut du sucre en alimentation humaine, à partir de la macération des tiges de bourgou.

Les revenus tirés de ces produits sont élevés en zone périurbaine et faibles en zone rurale et croissent au fur et à mesure que l'on s'approche de la période de soudure. En moyenne, dans le delta, un hectare de bourgou rapporte environ 20 000 FCFA pour 3 mois d'exploitation en période de soudure.

Les systèmes pastoraux de la vallée du fleuve et de la zone lacustre

A partir de la zone du delta intérieur et le long de la vallée du fleuve, on trouve :

- la zone de bourgoutières maintenue le long du fleuve ;
- de part et d'autres du fleuve, les zones de pâturages pour le nomadisme ou la transhumance du cheptel.

Comme dans le delta, les sécheresses successives ont perturbé aussi ce système :

- dégradation et disparition des bourgoutières ;
- envahissement des zones de bourgoutières par la riziculture anarchique, avec des conflits fonciers importants ;
- reconversion des éleveurs paupérisés en maraîchers, riziculteurs, voire en pêcheurs.

Avec l'implantation des points de fixation le long du fleuve grâce à l'appui des ONG, on observe chez les nomades la combinaison d'un élevage plus productif en lait avec la pratique de la riziculture, du maraîchage ou de la bourgouculture.

Ces données sur la vallée du fleuve sont aussi valables pour les zones lacustres, qui ont souvent fait l'objet d'une emprise traditionnelle plus forte et plus stable. Là aussi les conflits sociaux et fonciers sont importants.

Les systèmes pastoraux liés aux cultures sèches

Dans certaines régions sahéliennes, les cultures sèches ont une grande importance (surtout les régions de Mopti, Koulikoro, Kayes, les cercles de la zone nord de la région de Ségou, accessoirement Tombouctou et Gao). En fait, on rencontre deux sous-systèmes :

- l'un où l'élevage est dominant, les cultures sèches venant en appoint (pratiqué par les éleveurs) ;
- l'autre où l'agriculture est dominante, l'élevage servant en général d'épargne par thésaurisation.

En général, plus la zone est productive en mil, plus l'espace pastoral est réduit voire inexistant. On constate un envahissement effréné de l'agriculture au détriment non seulement des zones de pâturages, des jachères mais aussi des forêts.

La surexploitation des zones agricoles entraîne l'appauvrissement des sols et dans certains cas l'apparition de légumineuses nuisibles peu appréciées telles que *Walteria indica* (Gontoro) et *Tephrosia* sp. (Silambewo).

On observe presque partout une obstruction des pistes de transhumance du bétail, avec très souvent des conflits importants causés par les animaux à leur retour.

Ces problèmes divers sont dus :

- à l'extension des superficies agricoles par défaut d'intensification et de productivité ;

- à l'explosion démographique des zones agricoles, qui pousse à la production pour l'autosuffisance alimentaire ;
- aux déficits pluviométriques successifs qui raréfient les ressources naturelles disponibles.

Dans les régions de cultures sèches de Kayes (Kaarta, Guidimaka...), de Koulikoro (Nara, Banamba...), de Mopti (Séno Bankass, Gondo, Méma...) et de Ségou (Kala supérieur et inférieur, Kouroumari...), l'intégration agriculture-élevage est indispensable. Partout cette intégration en cours mérite une attention particulière afin de maximiser la rentabilité des actions pour la bonne gestion des ressources naturelles.

En général, ces régions ont souffert de la sécheresse mais se trouvent également dans des zones de crise énergétique (bois de chauffe) et souvent en pénurie de bœufs de labour en bonne condition pour le travail. D'où l'intérêt des actions prenant en compte le reboisement, les cultures fourragères associées aux cultures sèches. Les produits et sous-produits agricoles pourront être recyclés par le bétail, qui en retour apportera la fumure animale.

L'approche globale du développement permettra de mieux sécuriser les productions au sein de ces systèmes.

Les systèmes pastoraux de la zone sud du Mali

Les systèmes pastoraux du nord et du centre ont beaucoup contribué par transmigration et transfert à l'augmentation des effectifs du cheptel et à la pression démographique dans cette zone. On se retrouve dans un système complexe, avec une forte pression foncière de par les activités en présence.

En dehors de la zone de l'Office du Niger qui est axée sur la riziculture intensive, on peut actuellement distinguer quatre zones : à forte pression agricole, à pression agricole moyenne, à pression agricole faible, à pression agricole nulle.

Ainsi, dans les régions de Koulikoro sud, Ségou sud et surtout Sikasso, on note la présence de deux modes d'élevage qui s'imbriquent : l'élevage sédentaire et l'élevage transhumant.

Dans la zone sud, l'élevage sédentaire se caractérise par le cheptel de trait ou de traction animale, l'élevage paysan de thésaurisation et l'élevage productif semi-intensif autour des grands centres de consommation.

L'élevage transhumant intégré en zone sud comprend l'élevage semi-transhumant des éleveurs peuls sédentarisés dans la zone sud et l'élevage transhumant des grands éleveurs qui font le va-et-vient pour boucler la période de soudure.

En association étroite avec son élevage, le Peul sédentaire pratique très souvent une agriculture qui utilise la fumure organique et la traction animale.

La culture cotonnière a imprimé à la zone CMDT un essor particulier, avec souvent une forte occupation de l'espace (à Koutiala, on estime que 90 % des bonnes terres ont déjà été exploitées par l'agriculture).

Le tableau III donne un aperçu de la répartition du cheptel dans la région de Sikasso en 1986.

La zone sud possède un élevage traditionnel bovin avec les taurins (N'Dama, Méré et Baoulé) et un petit élevage avec les moutons Djallonké et les chèvres de race guinéenne.

Les diverses parasitoses et surtout les glossines représentent des contraintes importantes en matière de santé animale.

Tableau III. Répartition du cheptel dans la région de Sikasso.

	Sikasso	Bougouni	Koutiala	Total
Bovins				
Agropasteurs	122 500	92 700	161 000	326 000
Bœufs de trait	36 900	21 000	75 000	132 000
Total	332 000	487 000	351 000	1 170 000
Ovins-caprins	151 000	204 000	151 000	506 000

Source : CMDT-DNE.

L'intégration agriculture-élevage

La pression démographique et animale sur l'espace, la faiblesse voire la réduction des ressources naturelles disponibles obligent de plus en plus à orienter le développement économique vers une intégration des activités. Pour l'agriculture et l'élevage, cette intégration doit être à la fois verticale et horizontale afin d'aboutir :

- à une meilleure gestion des ressources naturelles ;
- à une maximisation de la production totale et à sa rentabilité afin de satisfaire l'autosuffisance alimentaire et servir les circuits d'exportation.

Bien souvent, le terroir pastoral s'est trouvé annexé par une agriculture peu productive et dévoreuse d'espace. Partout le conflit foncier tourne à l'avantage de l'agriculture car on a souvent tendance à confondre autosuffisance alimentaire et production agricole. Malheureusement, dans nos systèmes pastoraux, le bétail est obligé de se déplacer pour produire en exploitant les espaces.

Le Mali-Sud est la partie du pays où l'intensification de l'agriculture a été une réussite. Ces résultats tiennent à des facteurs géo-climatiques mais aussi à l'intégration de l'agriculture et de l'élevage. Le développement spectaculaire au Mali de la culture attelée en est la meilleure preuve.

Les transferts positifs et les interdépendances entre ces deux activités se manifestent sur plusieurs plans. Il faut que le troupeau et les productions animales soient gérés au profit de l'exploitation agricole :

- fourniture de la force de travail (énergie animale) ;
- production et utilisation de la fumure organique ;
- exploitation du surplus de l'effectif (embouche, vente, etc.).

De même, les productions végétales et agricoles du terroir doivent être disponibles au profit de l'élevage (alimentation du bétail) :

- les cultures fourragères ;
- les résidus de récolte ;
- l'utilisation des sous-produits agricoles et agro-industriels.

Cette intégration est indispensable à la fois pour la viabilité des systèmes mais aussi pour leur cohésion.

Organisation des populations pastorales

Le parti et le gouvernement du Mali se sont engagés vers un développement autocentré, avec un désengagement progressif de l'Etat et une responsabilisation des groupements organisés à la base. L'option d'organisation vise à terme le "ton villageois", qui s'appuie sur l'expérience traditionnelle du monde rural. Cet engage-

ment politico-administratif est très vivant dans toutes les régions du Mali. De même, la conjoncture internationale et nationale oblige de plus en plus à renforcer, à tous les niveaux, l'autodéveloppement, facteur d'expansion et surtout de stabilité du développement économique et social.

Dans ce contexte, l'organisation des populations est une plate-forme indispensable et prioritaire, condition sine qua non pour un développement à long terme.

Dans le secteur élevage, outre les organisations traditionnelles, on rencontre deux formes d'organisation :

- les coopératives des éleveurs ;
- les associations pastorales.

Cependant, on peut également rencontrer des groupements non encore structurés (GVC ou GVA : groupements à vocation coopérative ou groupements à vocation associative) qui s'occupent des problèmes de leur secteur.

Chez les socio-professionnels du secteur (bouchers, marchands de bestiaux), on retrouve les deux formes d'organisation, mais de façon générale le niveau d'organisation et de structuration reste faible. Seules les zones couvertes par des projets stables (CMDT, ORM, Office du Niger, ODEM, etc.) ont des structures organisées, fiables et dynamiques.

Les coopératives des éleveurs

Depuis la période 1972-73, le mouvement coopératif, surtout au sein du monde pastoral, a pris un essor particulier. Cependant, certaines régions, en fonction de l'activité et de l'encadrement, ont enregistré des résultats satisfaisants en fonction de l'expérience acquise. D'autres coopératives ont perdu de leur dynamisme en raison de la paupérisation de leurs membres par décimation du cheptel.

Si les coopératives sont instituées sur les bases légales de 1983, des textes sont en cours de réactualisation qui devraient permettre de renforcer leur dynamisme.

Les coopératives ont comme missions principales :

- la défense des intérêts individuels et communs des membres (lutte contre les voleurs d'animaux, règlement des conflits) ;
- la réalisation en commun et la gestion des investissements collectifs pour les coopérateurs (marchés à bétail, mares, puits, parcs à bestiaux, etc.) ;
- la participation à l'encadrement des troupeaux lors du retour des transhumants ;
- la perception et la gestion des fonds collectés par la coopérative (fonds, legs, cotisations diverses, droit de traversée) ;
- la recherche et la gestion des intrants (aliments bétail, pierre à lécher, etc.) ;
- la participation avec l'encadrement à la sensibilisation de l'ensemble des éleveurs pour les tâches permanentes et ponctuelles de développement.

L'ODEM compte dans sa zone (Mopti) 51 coopératives.

Le dynamisme des coopératives est essentiellement fonction de celui de l'encadrement, de l'entente entre les coopérateurs et du choix judicieux des projets et programmes. Dans l'ensemble, le mouvement coopératif est jugé satisfaisant :

- vingt coopératives ont ouvert des comptes d'épargne ;
- trente-cinq millions de FCFA ont fait l'objet de crédit par la BNDA avec remboursement satisfaisant, crédit à la commercialisation (achat et revente par la coopérative) ;
- quinze coopératives centrées sur le delta participent chaque année à la traversée ou au suivi des troupeaux dans le delta et financent la bourgoculture.

Dans l'ensemble, des programmes comme la culture du bourgou, le reboisement,

la matérialisation des espaces pastoraux, sont très bien compris et acceptés par tous les éleveurs.

Des actions plus spécifiques sont menées dans la région de Mopti, en matière de construction et de gestion des marchés à bétail, mais aussi d'organisation des traversées et accès au delta.

Dans le district de Bamako, la plupart des coopératives sont axées sur la production animale mixte. Seule la coopérative laitière de Bamako (Colaiba), à l'instar de la toute nouvelle coopérative laitière de Mopti (Coop Kosam), s'oriente vers l'intensification de la production laitière.

Colaiba, qui est constituée de cadres et de commerçants des communes de Bamako, a pu grâce à son dynamisme réaliser des programmes importants :

- importation de races exotiques (Monbéliarde) pour certains coopérateurs ;
- organisation de la chaîne de ravitaillement en aliment bétail, etc.

Dans certains cas, les coopératives connaissent diverses difficultés :

- mésentente parmi les membres ;
- problèmes de gestion avec détournement de fonds de la coopérative ;
- entrave dans la gestion de la coopérative par l'administration et les cadres techniques, etc.

Il est à noter que les efforts en cours dans le cadre de la restructuration et de la responsabilisation des populations sont des facteurs de stimulation pour l'avènement de groupes organisés à la base.

Par endroit, les coopératives comme les associations ont reçu le soutien d'actions socio-économiques : santé humaine, alphabétisation fonctionnelle, actions pour les femmes.

Les associations pastorales

Dans le cadre des associations pastorales, l'objectif est de sensibiliser les éleveurs d'une même zone afin qu'ils se mobilisent pour :

- investir ensemble dans l'activité pastorale ;
- gérer des investissements communs dans l'intérêt de tous les membres ;
- mettre en valeur et gérer un espace pastoral destiné à promouvoir la production animale.

En général la forme en association est plus souple et moins "administrative". La sensibilisation est assurée entièrement par l'encadrement de l'ODEM. Une approche évolutive permet de franchir différentes étapes :

- Stade 1 : association non déclarée ou groupement pastoral volontaire
- sensibilisation (ODEM)
- lettre d'intention d'union du groupement à l'ODEM
- mission identification du groupement
- études préliminaires
- études socio-économiques pour dossier à l'administration
- constitution du dossier légal et dépôt
- Stade 2 : association déclarée ou cellule pastorale
- reconnaissance plus officielle de l'association
- préparation des programmes de développement
- recherche et étude des zones pastorales à mettre en valeur
- préparation du dossier d'affectation de l'espace pastoral pour l'administration
- Stade 3 : association pastorale d'utilité publique ou unité pastorale, association pastorale.

L'approche est donc progressive, globale et suppose la responsabilisation, dès le départ, des populations concernées. Cela permet à terme de constituer une

association pastorale disposant d'un cheptel géré et suivi, d'un point d'eau sur un espace pastoral qui lui est attribué de façon préférentielle. Le groupe doit respecter les termes du cahier des charges : surveillance de l'espace et mise en valeur des ressources, respect de la charge, période d'exploitation et mise en défens, respect des us et coutumes des populations de la zone.

La reconnaissance par l'administration des groupements est indispensable. Le régime foncier devrait permettre aux associations d'avoir plus de garanties afin de pouvoir prendre les engagements nécessaires pour la mise en valeur de leur terroir (usufruit préférentiel avec respect du droit des tiers).

Le soutien de certaines actions d'accompagnement (santé primaire, alphabétisation, soutien audiovisuel) est indispensable pour la réussite et le transfert des activités.

Les résultats acquis sont à l'actif à la fois de la population et de l'encadrement. On peut retenir les éléments suivants :

- comportement unitaire chez les éleveurs favorisant une gestion communautaire des ressources ;

- protection et mise en défens de l'espace contre les coupes des arbres, l'émondage, les feux de brousse et le braconnage ;

- restauration des pâturages dégradés, par mise en défens, cultures fourragères et réalisation de pare-feu ;

- création et maintien de troupeaux laitiers, surtout en période de soudure, afin de produire du lait et du beurre pour l'autoconsommation et la vente (cas des unités pastorales du Méma) ;

- organisation et mise en place des structures d'approvisionnement en denrées de première nécessité (construction de magasins, achat et ravitaillement en céréales, sel, sucre et thé) ;

- actions socio-économiques et sanitaires ;

- maintien d'une partie des populations et du cheptel allochtones au delta dans la zone exondée afin d'éviter les conflits.

Les perspectives du secteur élevage

Les notions de thésaurisation du cheptel, de cheptel épargne sont souvent des termes à prendre en compte dans le contexte socio-économique des systèmes de production existants. L'évolution ne s'explique pas toujours en tendance traditionnelle de telle ou telle activité mais plutôt en système de production dynamique et complexe.

Partout on constate que l'élevage est un système relais obligé, pratiqué par tout le monde (fonctionnaire, paysan, éleveur, etc.). Dès qu'une possibilité d'épargne existe, on pense à acquérir des animaux sans souvent se soucier du lendemain.

Exploitation et commercialisation du bétail

Dans l'ensemble (tableaux IV à IX), la commercialisation reste l'un des maillons faibles des filières de production du secteur élevage. Si l'on fait une analyse par filière (bétail-viande, lait et produits laitiers, aviculture, etc.), on se rend compte que l'aspect marketing est peu maîtrisé et souvent perçu comme venant bien après la production.

Tableau IV. Exportations et abattages des bovins au Mali, de 1981 à 1987
(en milliers de têtes).

	Exportations				Abattages			
	Contrôlé	Non contrôlé	Total	Exportations/ effectifs (%)	Contrôlé	Non contrôlé	Total	Exportations/ effectifs (%)
1981	68	136	204	3,2	130	194	324	5,0
1982	73	146	219	3,3	126	189	315	4,7
1983	87	218	305	5,3	137	206	343	6,0
1984	141	282	423	8,6	188	281	469	9,6
1985	80	161	241	5,5	196	294	490	11,2
1986	69	138	207	4,6	158	200	358	8,0
1987	70	140	210	4,5	138	207	345	7,5

Source : Direction nationale de l'élevage.

Tableau V. Exportations et abattages des petits ruminants au Mali, de 1981 à 1987
(en milliers de têtes).

	Exportations				Abattages			
	Contrôlé	Non contrôlé	Total	Exportations/ effectifs (%)	Contrôlé	Non contrôlé	Total	Exportations/ effectifs (%)
1981	134	268	402	3,2	293	1 160	1 453	16
1982	156	312	468	3,8	315	1 782	2 097	17
1983	54	108	162	1,4	334	1 893	2 227	20
1984	496	992	1 488	14,3	361	2 043	2 404	23
1985	148	289	437	4,5	391	2 218	2 609	26
1986	132	264	396	3,8	314	1 256	1 570	15
1987	133	266	399	3,8	348	1 392	1 740	17

Source : Direction nationale de l'élevage.

Tableau VI. Abattages contrôlés et estimations des abattages non contrôlés en zone ODEM de 1978 à 1987.

	Bovins			Ovins			Caprins		
	Contrôlé	Non contrôlé	Total	Contrôlé	Non contrôlé	Total	Contrôlé	Non contrôlé	Total
1978	6 592	12 000	18 592	15 384	30 000	45 384	23 826	45 000	68 826
1979	6 608	11 000	17 608	14 349	32 000	46 346	22 220	44 000	66 220
1980	6 004	13 000	19 004	13 873	28 000	41 873	22 118	45 000	67 118
1981	11 375	22 000	33 375	14 047	35 000	49 047	26 064	48 000	74 064
1982	11 012	21 000	32 012	15 945	36 000	51 945	26 324	51 000	77 324
1983	13 310	23 000	36 310	16 306	38 000	54 306	29 430	56 000	85 430
1984	15 178	25 000	40 178	18 476	39 000	57 476	29 007	61 000	90 007
1985	15 666	28 000	43 666	18 157	36 000	54 157	30 838	62 000	92 838
1986	8 266	11 000	9 366	11 745	32 000	43 745	32 518	67 000	99 518
1987	6 883	12 000	18 883	12 803	31 000	43 803	38 024	70 000	108 024

Source : ODEM.

Tableau VII. Evolution des mouvements des marchés en zone ODEM de 1977 à 1987.

	Bovins			Ovins			Caprins		
	Présenté	Vendu	% de vente	Présenté	Vendu	% de vente	Présenté	Vendu	% de vente
1977	121 400	15 799	13,01	91 000	84 500	92,85	14 000	8 000	57,14
1978	192 347	114 741	59,65	233 672	153 909	65,86	190 435	130 072	68,30
1979	149 116	53 903	62,97	214 456	143 623	66,97	154 407	100 725	65,23
1980	162 931	101 250	62,14	322 582	207 236	64,24	230 072	149 436	64,95
1981	150 342	90 951	60,49	192 414	119 760	62,24	144 979	89 702	61,87
1982	127 101	72 509	57,04	170 450	104 952	61,57	127 223	74 478	58,54
1983	142 248	73 833	51,97	248 567	144 482	58,12	149 927	89 005	59,36
1984	179 992	100 123	55,62	272 361	170 772	62,70	176 769	107 682	60,91
1985	158 146	95 975	60,68	207 442	133 496	64,35	175 060	107 588	61,45
1986	113 442	71 352	62,90	161 702	107 397	66,41	143 677	83 740	55,24
1987	105 150	71 873	66,35	192 145	136 856	71,22	173 277	116 103	67,00

Source : ODEM.

Tableau VIII. Evolution des prix moyens des animaux en zone ODEM de 1977 à 1987 (en francs CFA).

	Taurillons	Taureaux	Génisses	Vaches	Bœufs	Moutons	Chèvres
1978	20 395	32 295	31 635	23 505	44 080	6 035	4 760
1979	19 990	31 530	33 630	23 270	47 475	6 340	5 575
1980	23 725	38 050	36 825	24 750	55 550	8 375	5 950
1981	23 740	44 200	38 665	24 400	58 685	8 200	6 225
1982	28 470	49 830	44 300	24 870	67 965	8 340	6 235
1983	19 945	38 480	33 765	24 870	59 885	9 680	6 800
1984	24 015	48 480	43 160	23 215	68 840	10 700	10 950
1985	18 530	32 475	24 650	26 630	50 300	7 550	5 130
1986	29 970	56 480	42 130	21 665	80 085	11 940	7 900
1987	34 400	54 470	45 580	38 150	85 400	12 050	7 535

Source : ODEM.

Tableau IX. Frais imputables à l'exportation du bétail au Mali
(taxes perçues par l'Etat et les collectivités).

Taxes ou redevances	Montant
Patentes des marchands exportateurs : patentes import-export	10 % de la valeur des investissements
Impôts	
Bénéfice industriel et commercial	10 % du chiffre d'affaires
Impôt général sur le revenu	ou 30 % du bénéfice
Taxes de fréquentation des marchés	150 à 200 FCFA par bovin 25 à 100 FCFA par ovin-caprin
Levée et enregistrement de la licence	150 FCFA par bovin 50 FCFA par ovin-caprin
Taxe sanitaire	150 FCFA par bovin 80 FCFA par ovin-caprin
Taxe OMBEVI	50 FCFA par bovin 30 FCFA par ovin-caprin
Taxe statistique	2 % de la valeur mercuriale de la marchandise exportée
Taxe douanière	1 750 FCFA par bovin 250 FCFA par ovin

L'élevage est une activité globale qui devrait aussi considérer les problèmes de commercialisation en fonction des productions animales disponibles, donc du surplus de production ; deux éléments méritent une attention particulière :

- la maîtrise du commerce intérieur et la possibilité d'augmenter le niveau de la consommation nationale ;
- la consolidation des exportations afin d'y maintenir l'apport du secteur au plan des recettes.

Pour réussir dans cette entreprise, il faut intervenir dans les domaines suivants :

- réactualisation des bases légales du commerce du bétail et de la viande ;
- réorganisation structurelle, administrative et pratique des circuits d'exportation en supprimant les taxations sauvages qui ne rapportent rien à l'Etat ;
- sensibilisation et formation des professionnels du secteur pour la fourniture de produits de qualité ;
- assistance de l'Etat au plan des relations inter-étatiques afin de faciliter le négoce du bétail et le transfert de devises.

Gestion foncière

Si le code domanial et foncier du Mali est régi par la loi n° 86-91/AN-RM du 12 juillet 1986, le décret d'application en cours de préparation devra tenir compte du foncier pastoral.

En effet, on se rend compte à la lecture de ce code que le foncier pastoral n'y

a pas de place et qu'il y a là une source de confusion dans son interprétation. Il est admis couramment au sein des terroirs traditionnels au Mali que la terre appartient à l'Etat mais qu'il faut tenir compte des us et coutumes des populations. Avec la pression sur l'espace, l'approche traditionnelle se trouve très souvent contestée, en fonction des rapports de force en présence.

Seul le schéma directeur d'aménagement de l'espace, par une utilisation rationnelle des ressources naturelles et la préservation et sauvegarde de l'environnement, peut à terme résoudre les crises et les conflits de terroirs.

Cependant, il faudra tenir compte aussi des droits traditionnels qui prévalent dans les zones, des rapports de force entre les systèmes en place, de leurs connexions et interrelation, des objectifs régionaux et nationaux.

Une fois le schéma adopté, la structure d'application et de planification devra être autonome, mais disposer de l'assistance scientifique nécessaire et être à l'écoute des populations, tout en respectant les équilibres sociaux et écologiques.

Groupements organisés

A l'instar des chambres locales, régionales et nationales d'agriculture, dont la création est prévue au Mali, les groupements organisés préserveront leur devenir dans l'union, l'entente et la décentralisation.

La dynamique de l'organisation des populations concerne trois niveaux : l'arrondissement, le cercle et la région. A un stade plus avancé, le niveau national pourrait coordonner cet ensemble.

Le rôle essentiel de l'Etat est l'assistance pour la mise en place de ces différentes formes d'organisation.

Seule l'organisation des populations à la base, avec une participation responsable à la conception, à la planification et à l'exécution des projets et programmes, permettra de réussir les transformations rapides qui sont souhaitables en matière de développement.

Actions d'intensification

Malgré l'engouement d'un secteur moderne naissant, l'élevage au Mali reste encore sous l'emprise d'un système traditionnel lourd, peu performant, très peu tourné vers l'économie de marché et ses possibilités d'expansion.

Les données bio-économiques des espèces animales, la faiblesse des ressources naturelles devraient pousser à s'orienter vers un développement global, harmonieux et économiquement rentable, prenant en compte l'homme, l'animal et l'environnement.

L'intégration agriculture-élevage étant le premier maillon de l'intensification, d'autres actions pourraient être envisagées :

- l'intensification des projets et programmes de production laitière par l'intermédiaire des mini-laiteries, à l'instar du programme en cours à Mopti et à Kayes ;
- le soutien aux abattoirs au niveau des chefs-lieux de région afin de mieux assurer la rentabilité et l'hygiène pour les populations ;
- le renforcement du secteur privé en agro-industrie alimentaire et de transformation pour les cuirs et peaux.

Il s'agit à travers ces actions, dont la liste n'est pas exhaustive, d'infléchir l'évolution du secteur bétail-viande et des autres filières de productions animales au Mali vers un développement moderne, plus performant à la fois pour les producteurs et pour l'Etat.

La malherbologie

**Pierre-Vincent Fontanel
CIRAD-CA**

Table des matières

Compétition et nuisibilité	195
Techniques de lutte	197
La connaissance botanique et écologique	198
Désherbage et temps de travail	199
Le désherbage chimique : coût et factibilité	200
L'organisation des travaux	201
Cultures pluviales	201
Cultures irriguées	202
Adapter les solutions techniques	203
Bibliographie	204

Les problèmes posés aux scientifiques comme aux agriculteurs par la présence des adventices ont clairement été identifiés par OKIGBO (1978) pour les régions des tropiques en général. Cet auteur évoque d'abord la compétition, dont il faut chiffrer les conséquences en perte de production, et les stades de la culture où elle s'exerce. Il faut y associer les nuisibilités indirectes : dépréciation des semences, toxicité pour le bétail, envahissement des ouvrages hydrauliques. On doit également prendre en compte les gains apportés par des techniques de lutte modernes : herbicides, travaux du sol, mais aussi calage des désherbages en fonction des "stades critiques" de la culture. Ces deux points sont constitutifs de la problématique technique, dans laquelle il faut inclure l'identification botanique et également le comportement des peuplements adventices dans l'écologie créée par les techniques culturales. Enfin, il faut considérer l'application des désherbages dans le cadre des unités de production, afin d'insérer les résultats techniques dans les stratégies agricoles proposées pour chaque région.

Le désherbage représente au Sahel de 40 à 70 % du temps de travail sur la culture (opérations post-récolte non comprises). Il est donc l'un des principaux facteurs limitants dans les situations où l'extensification est la tendance dominante. D'autre part, l'intensification des cultures ne sera rentabilisée que si les conditions d'une bonne maîtrise des adventices sont réunies ; dans le cas contraire, les investissements en fumure et mécanisation risquent de se perdre du fait d'une concurrence accrue des mauvaises herbes. Or l'introduction de techniques culturales, physiques ou chimiques, va se heurter à des contraintes monétaires et de disponibilité en main-d'œuvre, qu'il faut évaluer au cas par cas. Le même auteur cite des observations sur des systèmes de culture typiquement sahéliens associant arachide et mil, selon lesquelles le choix par les agriculteurs de favoriser le semis de l'arachide entraîne des retards de sarclage du mil. Plus généralement, dans le cas (le plus répandu) de culture sans herbicide, les besoins en sarclage nécessitent une planification délicate des travaux sur l'assolement. Cette difficulté est bien sûr croissante avec l'extensification.

La recherche doit donc aborder la malherbologie de manière systémique, à l'échelle des exploitations agricoles : définition biologique des problèmes à affronter, inventaire des techniques disponibles et possibilités de leur agencement dans l'espace (foncier) et dans le temps (itinéraires techniques). C'est là un thème pris en compte récemment par la recherche, qui peut ainsi proposer des orientations en matière d'organisation des travaux.

Compétition et nuisibilité

Ces thèmes essentiels sont loin d'avoir été étudiés de façon systématique. Le riz, l'arachide et à un moindre degré le sorgho et le mil ont fait l'objet d'études fragmentaires. Celles-ci permettent d'évaluer pour de petites aires géographiques les pertes et les stades sensibles des cultures. Cependant, on sera souvent amené à transposer, avec la prudence nécessaire, les résultats de recherches plus précises menées en Inde pour les cultures pluviales, en Asie du Sud-Est pour le riz irrigué.

Ainsi diverses sources bibliographiques donnent une moyenne pour les tropiques des pertes et des périodes critiques (tableau I).

On observe que, d'une façon générale, c'est en début de cycle que la concurrence se manifeste sur les cultures sahéliennes mais que celles-ci ont des sensibilités très variables. Le maïs et le sorgho sont les plus résistants, le mil et les solanaceae sont au contraire très sensibles.

Tableau I. Pertes de rendement et périodes critiques pour différentes cultures.

Culture	Période critique	Pertes (% du rendement)
Riz irrigué		
Semis en sec	6 semaines ¹	50 à 72 ⁴
Repiqué	6 semaines ¹	20 à 30 ⁴
Sorgho	5 semaines ¹	35 à 46 ⁴
Mil	6 à 8 semaines ¹	70 à 90 ⁵
Arachide	Entre la 3 ^e et la 8 ^e semaine ²	40 à 80 ²
Niébé	-	-
Maraîchage (tomates, autres solanaceae, oignon)	6 à 8 semaines ³	-
Maïs	6 semaines ¹	35 à 50 ¹

¹ AKOBUNDU, 1987. ² DIALLO, 1981. ³ USOROH, in AKOBUNDU, 1987. ⁴ ZIMDHAL, 1980. ⁵ GARIN, 1989.

Notons que, pour le riz irrigué, le choix de l'implantation de la culture par repiquage réduit les pertes à la moitié ou au tiers de ce qu'elles peuvent atteindre en semis en sec. Cette sensibilité de chaque culture varie avec l'écologie (pluviométrie, fertilité des sols) et la composition floristique des enherbements. On sait qu'en culture irriguée cet effet de la flore est très marqué. Sur le riz, *Echinochloa crus-galli* peut faire chuter la production de 70 % alors qu'un peuplement de poaceae et cyperaceae moins concurrentiel ne la réduit que de 50 % ; sur maraîchage, les *Amaranthus* sont beaucoup plus nocives que les autres espèces. Mais la recherche n'a pas évalué l'effet d'espèces souvent très abondantes au Sahel comme les riz sauvages, *Ischaemum rugosum*, *Leersia hexandra* en culture de riz, *Portulaca* spp. en maraîchage. En culture pluviale, cette capacité de concurrence des différentes adventices est encore moins connue, à l'exception des espèces parasites.

Sur mil, sorgho et légumineuses, l'apparition d'une des trois principales espèces du genre *Striga* peut aggraver dramatiquement le profil des pertes. Leurs effets allélopathiques et parasitiques (SALLE et RAYNAL-ROQUES, 1989), lorsque les peuplements sont denses, créent des déficits allant de 40 à 90 % sur sorgho, de 50 à 100 % sur mil (estimations à partir de recherches en cours). Ces plantes ont connu depuis 1982 une expansion extraordinairement rapide en zone sahélienne, et sont devenues un des dangers majeurs pour la production céréalière de culture pluviale et donc pour l'autosuffisance alimentaire dans de nombreuses régions.

Les organismes de recherche nationaux et internationaux ont depuis 5 ans coordonné leurs efforts pour répondre à cette urgence ; ils sont en mesure de fournir des procédures d'évaluation et de suivi de la contrainte dans les terroirs paysans. Les programmes ont repris des tests de techniques de lutte adaptées à la biologie particulière de ces espèces et aux moyens techniques et financiers du paysannat, et ont obtenu des résultats prometteurs qui sont en cours de confirmation (voir ci-après).

Enfin, les chercheurs se sont récemment consacrés à préciser les phénomènes de nuisibilité en se rapprochant de la réalité des pratiques culturales. En effet, l'agriculteur n'a pas pour habitude de laisser une culture sans entretien (sauf si la végétation adventice est peu agressive et la culture résistante). Aussi les données relatives aux pertes de rendement et aux périodes critiques en conditions de non-sarclage (tableau I) fournissent-elles une indication globale mais sont difficilement transposables sur le terrain. Il est toute-

fois très intéressant de mesurer l'effet de sarclages plus ou moins nombreux ou celui du décalage des dates d'intervention. GARIN (1989) montre au Sénégal, à 450 mm de pluviométrie annuelle, que l'arachide est peu sensible à un décalage de la première intervention du 1^{er} au 10^e jour. DIALLO (1981) montre dans la même région que les pertes de rendement ne surviennent qu'à partir du 30^e jour. Par contre, le mil perd de 30 à 50 % de rendement si le premier sarclage est repoussé du 15^e au 30^e jour. Au Sénégal, et sur mil toujours, mais à 650 mm de pluviométrie annuelle, un retard de 5 à 6 jours dans la partie manuelle du sarclage entraîne des pertes de 10 à 30 % de la production (ANGE et FONTANEL, 1987). Une étude au Soudan, à 500 mm de pluviométrie annuelle, montre que le sorgho ne demande qu'un sarclage au 30^e jour, cette opération procurant un gain de 40 % sur la production. Ces approches permettent, région par région, d'affiner les connaissances sur la sensibilité des cultures et de caler les désherbages dans le cycle cultural.

Des études restent à mener, dans trois à cinq sites représentatifs des conditions géomorphologiques et pluviométriques des cultures pluviales. Pour les cultures irriguées, appelées à se développer avec les grands aménagements hydrauliques, les travaux sur la nuisibilité des principales espèces sont indispensables.

Techniques de lutte

Elles sont le plus souvent manuelles (désherbage à la houe et par arrachage), sauf au Sénégal où la vulgarisation de la traction attelée et la maintenance du parc par les artisans locaux (HAVARD, 1987) permettent des sarclages mécaniques en traction équine. La motorisation existe sur quelques exploitations des périmètres irrigués, elle permet le faucardage des espèces vivaces, mais généralement ce sont des désherbages manuels qui prédominent avec, là où une bonne maîtrise de l'eau est possible, une lutte par préirrigation.

Cependant, des recherches ont été menées sur les désherbages chimiques du riz irrigué mais aussi de toutes les cultures vivrières et de rente en pluvial (FALL *et al.*, 1978). D'autre part, les sarclages mécaniques adoptés massivement au Sénégal sont un résultat déjà ancien de la recherche (travaux de J. Nolle, années 1945-1955). Des travaux ont également porté sur l'optimisation du nombre et de la périodicité des sarclages (voir ci-après).

On constate que la mise au point de techniques de lutte gagne à être menée en coordination avec des travaux de phytotechnie (AKOBUNDU, 1987) : certaines techniques culturales ont en effet une action très nette sur les peuplements adventices. Ainsi la culture associée céréale-arachide ou niébé permet au Niger de supprimer le deuxième sarclage manuel. L'augmentation de la densité de semis favorise toutes les cultures dans la concurrence avec les adventices. Les effets des rotations et des fumures doivent être pris en compte : des plantes à port étalé (arachide, niébé) limitent les dicotylédones, le sorgho semble un précédent limitateur de l'enherbement ; à l'opposé, la fumure minérale accroît les peuplements des espèces les plus nuisibles et n'est rentabilisée que si des labours ou un surcroît de désherbage viennent limiter ces peuplements. Enfin, lorsque les *Striga* sont présents, rotation, fumure et cultivars résistants sont incontournables (SALLE et RAYNAL-ROQUES, 1989). Pour ces espèces qui sont à elles seules un problème, les possibilités de lutte biologique sont étudiées.

La recherche dispose de nombreux acquis. Les actes techniques de désherbage "physique", en motorisation, traction attelée ou en manuel, ainsi que l'outillage adapté sont bien connus. Par contre, les dates optimales d'intervention pour chaque situation agro-écologique et chaque culture sont souvent ignorées. On rejoint ici la

question des périodes sensibles, déjà abordée. On dispose d'un certain nombre de possibilités de désherbage chimique, mais la factibilité économique est souvent limitée ; de plus, la faiblesse fréquente des structures d'encadrement et de commercialisation intervient comme une contrainte supplémentaire à l'utilisation de ces techniques. Ces aspects financiers et organisationnels doivent être étudiés au cas par cas. Enfin, les connaissances sur l'effet des techniques culturales permettent une bonne coordination des résultats agronomiques et malherbologiques.

La connaissance botanique et écologique

Depuis 1982 et l'étude de MICHEAL, qui soulignait les carences dans ce domaine, on peut considérer que, pour la zone sahélienne, de gros progrès ont été réalisés. H. Merlier et J. Montegut ont réalisé en 1982 une flore qui, si elle ne couvre pas toutes les espèces sahéliennes, est fort utile pour ses clés de détermination et la qualité des illustrations. En 1983, P.J. Terry a fait paraître une brochure sur les adventices. La société Ciba-Geigy a entamé en 1980 une flore mondiale, récemment complétée par un volume sur les dicotylédones. La société Bayer a publié en 1986 un catalogue indexé dont l'objet est le recensement et la codification de toutes les espèces adventices à travers le monde. Cette édition est limitée quant au nombre d'espèces africaines mais l'actualisation en cours, grâce notamment à la participation du laboratoire d'accueil de malherbologie CIRAD-IRCT, va permettre de combler en grande partie cette lacune. L'ICRISAT a publié en 1983 un manuel d'identification des *Striga*, le CIRAD-IRAT et l'ICRISAT préparent un guide pour l'identification de toutes les phanérogames parasites du Sahel et l'évaluation au champ de leur densité.

D'autre part, ces dernières années ont vu se développer des monographies sur la biologie et la physiologie de taxons dangereux, comme par exemple la thèse de DEMBELE sur deux espèces de *Striga*. Ces études sont essentielles pour identifier les facteurs favorables ou défavorables au développement d'une espèce et préparer les recherches sur de nouvelles techniques de lutte. Elles permettent également de comprendre les mécanismes d'allélopathie ou de parasitisme.

Il faut enfin souligner l'approche nouvelle, initiée dans les années 1983 à 1986, qui consiste à travailler non plus seulement sur des espèces mais sur leur groupement en peuplements adventices au sein des parcelles. L'hypothèse de travail était que ce groupement s'opère sous l'effet de variables écologiques régionales (climat, sol, etc.) et surtout sous l'effet des techniques culturales. Des résultats probants ont été obtenus par le CIRAD-IRAT en Côte-d'Ivoire et pour la zone sahélienne au Sénégal : dans un terroir, les successions culturales, les choix de fumure, l'ancienneté de la culture vont définir les peuplements adventices qui se stabilisent dans les parcelles (FONTANEL, 1988). On pourra donc prévoir les évolutions de la flore et choisir des thèmes techniques susceptibles d'éviter l'expansion des espèces les plus nuisibles. Le CIRAD, à la suite de ces travaux, a lancé un programme régional basé au Cameroun, dont les premiers résultats vont être prochainement publiés.

La taxonomie et la biologie des espèces ont fait de gros progrès, les études de l'écologie des peuplements ont été initiées et semblent une voie prometteuse pour orienter, en relation avec les agronomes, les concepts de lutte intégrée. On peut penser cependant qu'il reste à travailler sur la biologie d'espèces particulièrement nuisibles non encore étudiées, et parmi elles les espèces de cultures irriguées.

Désherbage et temps de travail

Il s'agit ici des aspects agro-économiques de la malherbologie, en d'autres termes des conséquences des besoins en lutte contre les adventices quant à la gestion des exploitations.

Le poste désherbage doit être pris en compte de façon précise dans l'approche des temps de travaux. En effet, le contexte qui prévaut actuellement au Sahel, particulièrement en culture pluviale, est l'extensification des cultures comme réponse à la baisse de productivité due à la sécheresse et à l'expansion démographique : au Sénégal, dans le sud du bassin arachidier (650 mm de pluviométrie annuelle), on a pu vérifier que la superficie cultivée par actif était passée entre 1970 et 1983 de 1,2 ha à 2 et parfois 3 ha. Dans ces conditions, les agriculteurs sont, plus qu'auparavant, dépassés par l'ampleur des travaux d'entretien.

Les résultats de la recherche montrent que, d'un pays ou d'une région à l'autre, selon les conditions techniques de la culture et la végétation présente, cette charge varie grandement. L'arachide semée sur billons au Yatenga (Burkina Faso, 450 mm de pluviométrie annuelle) demande, selon MARCHAL (1989), de 40 à 45 jours par hectare. Au Sénégal, sur la même culture et dans une écologie comparable, les sarclages, réalisés cette fois en traction équine avec complément manuel, demandent de 8 à 11 jours (MONNIER, 1976 ; GARIN et LERICOLLAIS, 1989). Il y a donc en culture manuelle une multiplication par quatre des temps d'entretien qui suffiraient en situation de culture attelée, et le désherbage devient alors le poste de travail le plus important (60 % du temps global) ; ces chiffres se retrouvent pour les céréales, avec des pluviométries de 600 à 700 mm.

Le riz irrigué désherbé manuellement demande, si l'enherbement est constitué d'adventices annuelles, 3 à 4 jours par hectare à la houe rotative, complétés par 4 à 8 jours de sarclage manuel. Si la parcelle est envahie par des riz à rhizomes et des cyperaceae pérennes, le désherbage demande 10 jours supplémentaires (travaux menés à l'Office du Niger et à Mopti). A la SAED (Sénégal, région du fleuve), des essais de maîtrise de ces adventices pérennes par faucardage ou labour en motorisation font tomber le surcroît de travail à 2 jours par hectare. Notons que l'adoption des techniques de prégermination ou de repiquage réduit la durée des sarclages à la houe rotative et manuels.

Le désherbage chimique réduit le temps de désherbage à un jour par hectare si la réalisation de l'opération a été bonne. Si un sarclage complémentaire est nécessaire, la durée totale ne dépassera pas 3 jours en traction attelée et 6 jours en manuel. Cette technique peut donc être économiquement intéressante dans certaines situations (FALL *et al.*, 1978).

La recherche fournit des données chiffrées pour presque toutes les situations : culture pluviale en mécanisé ou manuel, culture irriguée en manuel, traction attelée ou motorisation. On doit noter toutefois que, pour le riz irrigué, ces temps d'intervention ne sont pas situés avec précision dans le cycle cultural ou dans le calendrier agricole. Ce point est utile pour la planification des travaux en fonction des stades critiques de la culture. De même, l'étude des durées de sarclage et de leur période d'intervention reste à faire pour le maraîchage.

Le désherbage chimique : coût et factibilité

Des travaux menés au Nord-Nigeria en culture pluviale, entre 1975 et 1980, concluent que le désherbage chimique n'est pas financièrement viable : les gains de production par rapport aux désherbages manuel ou mécanique sont trop faibles, voire nul. En revanche, au Sénégal, FALL *et al.* (1978), s'ils arrivent à la même conclusion pour le nord du bassin arachidier (productivité trop faible des cultures et lutte mécanique et manuelle relativement aisée), recensent certaines possibilités dans le sud du même bassin, contigu à la limite nord de la zone cotonnière. Le gain en temps de travail, avec les herbicides pour l'arachide de l'époque (pénoxaline, trifluraline, amétryne + prométryne...), était de 80 à 90 heures à l'hectare ; le désherbage chimique était alors rentable selon les hypothèses d'une productivité égale ou supérieure à 1 400 kg/ha et un coût de l'herbicide de 7 000 FCFA/ha.

En 1990 les herbicides arachide (terbutryne + métolachlore, dipropétryne + métolachlore, oxadiazon...) coûtent de 12 000 à 20 000 FCFA/ha, la productivité dans les conditions paysannes est de l'ordre de 1 000 kg, mais les désherbages permettent d'annuler complètement les sarclages ou de les réduire à une seule intervention vers le 40^e jour. Le gain en temps de travail est donc de 100 à 130 heures à l'hectare. Le prix de la journée de travail étant d'environ 500 FCFA (Sénégal, Mali, Burkina Faso), le gain serait de 50 000 à 65 000 FCFA/ha. D'autre part, le désherbage chimique semble procurer des gains de rendement de 15 à 30 % par rapport aux désherbages mécanique et manuel, souvent mal situés dans le calendrier (voir ci-dessous), mais ceci est à confirmer. Au prix d'achat au producteur actuel, l'herbicide serait donc rentable dans les zones les plus pluvieuses et, bien sûr, pour les parcelles les plus fertiles, assurant une production au moins égale à 1 000 kg/ha. Le même raisonnement peut être fait sur les champs cultivés en céréale sur céréale et qui bénéficient d'une fumure organique : en 1985, on a évalué que les pertes de production sur ce type de parcelle, dans le cas fréquent de désherbages imparfaits, pouvait atteindre 500 à 800 kg pour le mil et 500 à 1 000 kg pour le maïs ! Pour un prix minimal de 60 FCFA/kg, le gain serait de 30 000 à 60 000 FCFA par hectare.

Or, si l'on recherche une intensification, par exemple par apport d'engrais et plantation sur billons (cf. travaux de la Purdue University), on risque de perdre l'investissement du fait que la maîtrise de l'herbe devient difficile, le développement des peuplements d'adventices étant accru par les fertilisants et l'augmentation des ressources en eau. Il est nécessaire de reprendre des essais donnant les résultats économiques à la parcelle de l'utilisation d'herbicides, là où le risque climatique ne rend pas aléatoires les stratégies d'intensification. Mais il faut lier ce travail au test des façons culturales permettant une maîtrise de l'herbe plus rapide (buttage précoce, modification de la géométrie des semis...).

De plus, un calcul des effets à l'échelle de l'exploitation est nécessaire. L'utilisation d'herbicides sur une partie, même très réduite, des surfaces libère du temps de travail. Comment celui-ci va-t-il être redistribué ? Il peut y avoir là modification des capacités de travail des exploitations en culture pluviale.

Le riz irrigué flottant ne peut se traiter par herbicides (difficultés techniques et faible rentabilité), alors qu'en situation de bonne maîtrise de l'eau, ou bien si des espèces particulièrement envahissantes apparaissent, les herbicides deviennent applicables (efficacité agronomique et rentabilité). Cependant, le choix de cette technique doit se faire en fonction de la flore et des superficies cultivées par chaque agriculteur (si elles sont inférieures à 1,5 ha par actif et si la flore ne comporte pas d'espèces posant problème, le désherbage manuel suffit).

D'autre part, la recherche et le développement proposent les techniques de prégermination ou de repiquage, qui augmentent la compétitivité du riz irrigué vis-à-vis des adventices. Si on allie ces thèmes à des travaux du sol en motorisation ou en traction attelée, le recours à l'herbicide se limitera à la lutte contre les espèces pérennes et les riz rouges. Quoi qu'il en soit, les travaux sur le désherbage chimique, délaissés depuis les années 80, sont actuellement repris, de nouvelles molécules étant apparues depuis lors.

En systèmes de cultures pluviales, des désherbages chimiques existent, ils paraissent économiquement factibles pour les pluviométries et les conditions de fertilité les meilleures. Ils semblent nécessaires si l'on applique des techniques d'intensification. Les effets économiques de leur adoption sont donc à étudier à l'échelle de la parcelle et à celle de l'exploitation. En culture irriguée, les études nécessaires se situent dans un premier temps au plan de la rentabilité des herbicides à l'échelle de la parcelle.

L'organisation des travaux

Cultures pluviales

En culture pluviale, la recherche a fait depuis longtemps (MONNIER, 1976 ; OKIGBO, 1978) un constat qui s'avère toujours d'actualité : sur des saisons des pluies limitées à 10 ou 14 semaines, il y a concurrence en début de cycle entre le semis de l'arachide et le premier sarclage des céréales. Par la suite, entre le 35^e et le 50^e jour de la saison, le deuxième sarclage doit être réalisé sur toutes les cultures : arachide, niébé, mil et sorgho et maïs. On arrive alors à une situation de blocage. Si les exploitations ont opté pour l'extensif, comme cela est le cas dans bon nombre de situations sahéliennes, ce blocage s'aggrave en comparaison de ce qui était observé au début des années 70 ; les préséances entre chefs d'exploitation et dépendants pour l'accès au matériel et à la force de travail mettent ces derniers dans l'impossibilité de réaliser correctement l'entretien d'emblavures trop vastes. Les résultats en termes de productivité à l'unité de surface comme de productivité du travail peuvent alors être catastrophiques (ANGE et FONTANEL, 1987).

Il est d'ailleurs intéressant de signaler un parallèle entre ces observations faites au Sénégal et celles de MARCHAL (1989) au Burkina Faso dans un secteur où la pluviométrie annuelle est inférieure de 200 mm. En effet, les exploitations gérées selon les anciennes modalités (force de travail élevée par rapport à la superficie emblavée, environ 2 actifs pour 3 ha au Sénégal en traction attelée, 5 actifs pour 3 ha au Burkina Faso en manuel) arrivent à mieux étaler leurs travaux et obtiennent un contrôle quasi optimal de l'herbe pour une quantité de travail minimale. Les interventions réalisées en harmonie avec le rythme des pluies sont efficaces. A l'opposé, les exploitations travaillant en extensification (jusqu'à 1 actif pour 3 ha au Sénégal, 1 actif par hectare au Burkina Faso) sont obligées de réaliser leurs sarclages lorsque le matériel et la main-d'œuvre sont disponibles. Ces interventions arrivent trop tard après les pluies ou bien se font sur sol humide, et l'herbe repousse. On voit alors les agriculteurs délaisser des parcelles et reprendre les travaux sur celles qu'ils veulent préserver.

Notons également un résultat qui fait converger l'approche botanique, celle des techniques de lutte et l'analyse des travaux. Les études phénologiques montrent que certaines espèces ont des germinations précoces et étalées sur 8 à 9 semaines. A chaque pluie, le paysan voit émerger une nouvelle "vague" de germinations. La biologie de certaines de ces espèces leur permet de reprendre après un sarclage,

par bouturage (*Digitaria*, *Dactyloctenium*, *Commelina*...) ou par rejet de souche (*Pennisetum*, *Ipomoea*...) si le sol reste humide. Les désherbages manuels ou en traction attelée, dont on a vu qu'ils devaient être réalisés en fonction des périodes sensibles des cultures, ne seront efficaces que s'ils sont effectués tôt après les levées d'adventices, et soit après un assèchement du sol, soit avec un andainement écartant les organes végétatifs du sol. L'acte technique élémentaire demande donc une certaine précision. On conçoit bien que la planification de l'ensemble de ces actes sur une exploitation va être délicate et que les unités de production qui ont une pratique extensive ne pourront assurer une bonne efficacité des travaux d'entretien. Cette efficacité sera d'autant plus inaccessible que la pluviométrie sera abondante et étalée dans le temps : les levées d'adventices se succèdent alors sans interruption, les peuplements sont vigoureux et peuvent rejeter sur les sols détrempés (ANGE et FONTANEL, 1987).

L'approche coordonnée du biologique, du technique et de leurs conséquences en termes de gestion montre que les options techniques (engrais, traction attelée, modification des géométries de semis, herbicides...) visant un retour à l'intensification sans surcroît de travail sont les plus performantes. Elles apparaissaient en 1987 comme une possibilité d'avenir dans les régions où le risque pluviométrique ne dissuadait pas les agriculteurs de tout investissement. Or les études qui se sont poursuivies en milieu paysan révèlent depuis 1988 que l'augmentation de la pluviométrie s'accompagne d'une bonne maîtrise de l'herbe dans les 50 premiers jours. Ceci paraît paradoxal mais les cartes d'occupation des terres montrent dans le même temps que les superficies emblavées se sont réduites au profit des jachères.

Ces observations (programme "Espace" CIRAD-IRAT) appellent confirmation ; elles permettent de poser l'hypothèse d'une modification de stratégie et d'un retour à une intensification du travail, imposée par l'accroissement de la contrainte "mauvaises herbes", permise d'un autre côté par la diminution du risque climatique.

Cultures irriguées

En culture irriguée, l'analyse des travaux a paru au départ moins utile : les agriculteurs étaient censés travailler sur une seule production par saison, riz puis maraîchage ou riz sur riz, sur des superficies aisément gérables par une structure familiale. Cependant, les bilans des projets de développement montrent que certains agriculteurs accroissent leurs superficies tandis que d'autres n'obtiennent pas les moyens de production prévus (engrais, pesticides, équipement). De plus, certains producteurs combinent, à des degrés divers, cultures irriguées, cultures pluviales et activités d'élevage plus ou moins transhumantes. Une inadéquation entre capacité d'intervention et foncier peut alors apparaître, avec pour conséquence une maîtrise impossible des adventices.

Sur les périmètres irrigués, une irrégularité dans l'approvisionnement en eau ou l'apport d'intrants peut avoir les mêmes conséquences. Les agriculteurs ont tendance à compenser le risque ainsi créé en accroissant leurs superficies et en délaissant les techniques intensives, ou encore à se livrer à des activités extra-agricoles.

Dans tous les cas, il peut être utile de procéder à des études *in situ* de la conduite des travaux du même type que celles décrites ci-dessus pour les exploitations en cultures pluviales.

Cette approche de l'organisation des travaux culturels est encore trop ponctuelle et beaucoup de résultats ne sont pas publiés. La maîtrise de l'herbe cons-

tituant dans les conditions de culture actuelles au Sahel le poste de temps de travail le plus important pour des performances souvent décevantes eu égard aux efforts déployés, ces études devraient être développées dans des équipes associant malherbologues, agronomes et économistes.

Adapter les solutions techniques

La recherche en malherbologie au Sahel apparaît pour certains aspects majeurs comme fragmentaire, avec des lacunes flagrantes. Les phases où la culture est sensible à la concurrence des mauvaises herbes ne sont par exemple pas définies pour des productions aussi importantes que le riz irrigué ou le mil, et l'on doit procéder par estimation ou par extrapolation de résultats obtenus sous des climats et des conditions techniques très différents. Le pouvoir de concurrence des principales adventices, en pluvial comme en irrigué, est peu connu, seuls les parasites du genre *Striga* font l'objet de programmes spécifiques. Les études de nuisibilité sont donc à développer. Par contre, le dynamisme des études sur les techniques de lutte, la taxonomie, la biologie et l'écologie des espèces montre que la contrainte herbe est de nouveau sérieusement prise en compte dans la région. Parallèlement, des agronomes et des économistes poursuivent la quantification des temps de travaux dans les situations agraires transformées par la période sèche de 1968-1986. Les malherbologues et les économistes disposent d'éléments pour évaluer la factibilité de techniques modernes (chimiques ou mécaniques). Enfin, l'analyse de la planification des travaux et l'étude du calendrier cultural montrent les possibilités et les limites des options d'intensification ou d'extensification prises par les agriculteurs.

On se trouve donc devant un besoin de certaines recherches de base, mais dans le même temps l'approche écologique et phénologique des peuplements et les analyses multidisciplinaires de l'organisation des travaux apportent des informations précieuses sur la façon dont cette contrainte joue et sur les capacités de maîtrise des paysans. Cette orientation des recherches est à privilégier dans une région où le recours massif aux pesticides a peu de chance d'être rentable et où l'on doit pouvoir adapter les solutions techniques aux profils pluviométriques et aux moyens de production des agriculteurs.

Bibliographie

- ADRAO, 1985. Rapport annuel 1984. Station régionale de recherche sur le riz d'immersion profonde. Mopti, ADRAO, 142 p.
- AKOBUNDU I.O., 1987. Weed science in the tropics. Principles and practices. New York, John Wiley and Sons. 522 p.
- ANGE A., FONTANEL P., 1987. La contrainte enherbement et sa gestion dans le Sud-Saloum au Sénégal. Une analyse connexe de l'organisation du travail et de ses résultats agronomiques. In : VIII^e séminaire MESRU-CIRAD, Montpellier (France), septembre 1987, 25 p.
- DEUSE J., LAVABRE E.M., 1979. Le désherbage des cultures tropicales. Paris Maisonneuve et Larose, 310 p. (coll. Techniques agricoles et productions tropicales).
- DIALLO S., 1981. Les mauvaises herbes des cultures pluviales dans le secteur centre-nord du Sénégal. Mémoire DAT, CNEARC, 98 p.
- FALL M., HERNANDEZ S., PIROT R., POCHIER G., TCHAKERIAN E., 1978. Utilisation des herbicides au Sénégal : principales contraintes et possibilités d'introduction en milieu paysan. In : III^e symposium sur le désherbage des cultures tropicales, Dakar (Sénégal), 17-21 septembre 1978. Paris, ANTP, tome I, p. 31-45.
- FONTANEL P., 1988. Eléments de typologie des végétations adventices au Siné-Saloum (Sénégal) et conséquences pour l'amélioration des désherbages. In : VIII^e colloque sur la biologie, l'écologie et la systématique des mauvaises herbes, Dijon (France), septembre 1988. Paris, ANTP, p. 445-454.
- HAVARD M., 1987. L'apport de la recherche en machinisme à la mécanisation de l'agriculture au Sénégal. Bambey, ISRA, 46 p..
- GARIN P., LERICOLLAIS A., 1989. Evolution des pratiques agricoles depuis 20 ans et leur adaptation à la sécheresse dans un village du Siné au Sénégal. Montpellier, DSA-ISRA, 105 p.
- MARCHAL J.Y., 1989. En Afrique soudano-sahélienne : la course contre le temps. Rythme des averses et forces de travail disponibles. In : Le risque en agriculture. M. Edlin et P. Milleville (éd.). Paris, ORSTOM, p. 255-267. (coll. A travers champs).
- MICHEAL P.W., 1982. Recommendations on the role of weed identification in weed management in the advancing countries. In : Improving weed management. Rome, FAO, p. 178-179.
- MONNIER J., 1976. Fichier de références concernant les techniques de culture dites intensives proposées dans le Saloum. In : Première approche agro-socio-économique de l'exploitation agricole dans le Saloum : conséquences sur les possibilités d'intensification des systèmes de production traditionnels et post-traditionnels. Dakar, ISRA, 70 p.
- OKIGBO B.N., 1978. Weeds problems and food production in developing countries. In : Weeds and their control in the humid and sub humid tropics. Proceedings of a conference held at the IITA, Ibadan (Nigeria), July 3-7, 1978. I.O. Akobundu (ed.). Ibadan, IITA, p. 1-11.
- Purdue University, sans date. Cereal technology development in west african semi-arid tropics. A farming system perspective. IEGR, IPIA, 85 p.
- SALLE G., RAYNAL-ROQUES A., 1989. Le *Striga*. La Recherche, 206 : 44-52.
- ZIMDAHL R.L., 1980. Weed-crop competition. A review. IPPC, Oregon State University, 196 p.

La mécanisation agricole

**Gérard Le Thiec
CIRAD-SAR**

Table des matières

Le contexte	209
Aspects agro-climatologiques	209
Aspects agro-économiques	209
Aspects zootechniques	210
Les opérations culturales mécanisées	210
Un bilan des recherches	210
De nouveaux outils	213
Vers une meilleure valorisation de la traction animale	214
Utilisation optimale des animaux de trait	215
Gestion de carrière des bovins de trait	215
Utilisation des vaches à la traction	216
Mise au point d'outils plus performants	216
Une politique agricole cohérente	216
Bibliographie	218

Le contexte

Aspects agro-climatologiques

L'alimentation hydrique des cultures est un des facteurs principaux qui limitent la production agricole en zone sahélienne. Le déficit hydrique résulte tant de la faiblesse des pluies (sécheresse, raccourcissement de la période des pluies utiles... qui se sont succédé ces deux dernières décennies) que de la perte d'eau par ruissellement, très importante même sur pentes très faibles, particulièrement sous les fortes précipitations de début d'hivernage.

Dans les zones sahéliennes de culture pluviale, la prise en masse des sols en saison sèche excluant l'utilisation des outils classiques tels que canadiens, charrues à versoir, depuis plus d'une décennie les retards des pluies réduisent d'autant les périodes utiles à la préparation des sols. Cette prise en masse et les croûtes de battance en sols ferrugineux tropicaux empêchent l'infiltration des premières pluies, souvent violentes, et provoquent de fortes érosions.

La mise en place d'un profil cultural satisfaisant avant les semis représente par conséquent un facteur important du rendement des cultures et également une des charges de travail les plus fortes pour les agriculteurs.

Les travaux de préparation du sol, en zone semi-aride sahélienne, ont pour objectif principal de favoriser la rétention des eaux de pluies précoces et permettre ainsi la réalisation des semis à bonne date. Ils se heurtent à un certain nombre de difficultés.

Le labour, s'il offre la meilleure préparation du lit de semences qui soit, entraîne dans ces régions un retard dans l'exécution des semis, très fortement préjudiciable aux rendements, et le labour en sec est impossible dans la quasi-totalité des sols.

Le travail aux dents, de type canadien ou pics fouilleurs, est d'une faible efficacité, même dans les sols relativement peu compacts, et requiert une puissance trop élevée pour des attelages sahéliens en conditions de fin de saison sèche.

Par ailleurs, la mise en culture mécanisée des nouvelles terres pose naturellement le problème de l'essouchage, qui doit être envisagé en fonction des contraintes d'utilisation des matériels de culture attelée et des impératifs de protection contre l'érosion. Il constitue, de toute façon, un préalable indispensable à toute mécanisation quelle qu'elle soit.

Aspects agro-économiques

L'agriculture sahélienne s'inscrit dans un contexte économique défavorable, caractérisé par une seule culture de rente à faible revenu monétaire, l'arachide, et une organisation défaillante ou absente des circuits commerciaux pour les productions vivrières, dévalorisées par une aide alimentaire internationale sans doute nécessaire mais dont on mesure mal les effets pervers sur le développement régional. Ces handicaps qui pèsent sur l'amont et l'aval des unités de production sont actuellement accentués par les politiques d'ajustement structurel, avec pour corollaire un désengagement de l'Etat dans ces secteurs, non encore compensé par d'autres acteurs.

Malgré ces conditions agro-économiques difficiles, les régions sahéliennes ont vu émerger une mécanisation exclusivement en culture attelée, sous les actions conjuguées de la recherche, des sociétés de développement, et parfois de l'Etat.

Aspects zootechniques

La majorité des pays sahéliens offre des possibilités de choix entre trois espèces : asine, équine et bovine, le type zébu dominant très largement pour cette dernière.

Les ânes restent assez présents dans les petites exploitations et constituent encore une des voies d'accès à la culture attelée pour les paysans aux plus faibles revenus. A ce titre, il est bien "le cheval du pauvre".

Le cheval est l'animal de trait par excellence du Siné-Saloum, au Sénégal, où les agriculteurs sont très attachés à cette espèce pour les raisons suivantes : rapidité d'exécution des travaux (facteur qui a pris une importance croissante ces deux dernières décennies, plus sèches) ; longévité des animaux, qui peut dépasser une quinzaine d'années ; maniabilité et dressage aisé ; aptitudes mixtes : monture pour le transport et animal de prestige. Dans d'autres régions, la mise au travail du cheval peut aller à l'encontre de certaines valeurs culturelles relatives à cet animal de prestige, par exemple au Yatenga, où son intégration à l'exploitation est pourtant aussi forte qu'au Sénégal.

Le choix des bovins pour le trait comporte de solides raisons techniques, auxquelles les agronomes ont toujours été très sensibles : force de traction supérieure, meilleure résistance à l'effort, plus grande capacité de travail (temps de travail journalier plus long couplé à l'utilisation d'outils de plus grande largeur), enfin la valorisation en boucherie, argument économique décisif.

Si la zone sahélienne est par excellence la zone d'élevage, il n'en reste pas moins que l'alimentation des troupeaux redevient chaque année problématique en fin de saison sèche, époque où la reprise du travail est effective, mais où leurs capacités se trouvent réduites.

Les opérations culturales mécanisées

Les résultats de la recherche sont assez bien synthétisés sous la forme de "paquets technologiques" mis au point au CNRA de Bambey, qui peuvent s'appliquer à toute la zone concernée. Pour ce qui est de la mécanisation, ces propositions avaient pour objectifs :

- soit la réalisation des opérations culturales à bonne date (semis, sarclage, récolte de l'arachide) par simple substitution de techniques nouvelles grâce à la traction attelée, plus rapide, et d'autres techniques n'entraînant pas de grands bouleversements dans les systèmes de production ni d'investissements importants (thèmes légers) ;

- soit une transformation radicale des pratiques paysannes anciennes, devant aboutir à une véritable intensification, avec l'introduction du travail du sol profond, associée à des mesures de restauration des sols nécessitant par conséquent la traction bovine et l'intégration de l'agriculture et de l'élevage (thèmes lourds).

Un bilan des recherches

En mécanisation attelée, les objectifs d'application de ces thèmes, établis dès les années 50 et 60, amènent à dresser le bilan suivant.

Près d'une centaine d'outils à traction animale ont été testés, au Sénégal principalement mais aussi au Mali et au Burkina Faso, sur lesquels un quart environ

ont été proposés à la vulgarisation (dont cinq étaient polyvalents : multiculteurs Siné, Ariana, Arara, Triangle et polyculteurs Nollé). Ces outils permettent la réalisation d'un certain nombre d'opérations selon les thèmes qui viennent d'être définis.

■ Scarifiage du sol à sec

Lorsqu'a été mise en évidence la suprématie d'un semis précoce sur l'exécution d'une bonne préparation du sol effectuée plus tardivement, certaines zones ont vulgarisé cette technique par le biais du cultivateur canadien (parfois aux pics fouilleurs). Avec un succès relatif car cette façon culturale est naturellement conditionnée par la dureté du sol, et donc applicable uniquement dans les sols sablonneux à sablo-argileux mais toujours dans des sols légers. Les travaux récents (1987-1989) de recherche en machinisme menés par le CEEMAT redonnent un intérêt certain à cette façon "préculturelle", avec la mise au point d'une dent simple, efficace et relativement peu exigeante en effort de traction.

Pour pallier l'incompatibilité du labour en sec avec une mise en culture dans les délais optimaux, le labour de fin de cycle, un temps préconisé par la recherche car testé avec des résultats favorables, n'a pu passer en vulgarisation pour diverses raisons :

- il entre en concurrence avec les travaux de récolte ;
- il n'est possible qu'après arachide ;
- il exige un effort de traction plus élevé qu'en humide, car la dessiccation a commencé et donc la prise en masse ;
- il suppose un travail de reprise, avec des conséquences négatives sur la structure des sols ;
- il accentue les risques d'érosion, notamment à cause du piétinement des troupeaux durant plusieurs mois.

■ Semis en ligne, au semoir monorang

Il conditionne une densité optimale, garante d'un rendement élevé et autorisant les sarclages à la houe attelée, rapides d'exécution.

Mais le paysan a souvent succombé à la possibilité de semer sur de grandes surfaces sans s'assurer de sa capacité d'entretenir ses cultures ; d'autre part, si le semis mécanique est particulièrement intéressant en culture arachidière, il l'est beaucoup moins sur céréales, n'offrant qu'un faible taux de rentabilité, surtout dans le contexte actuel de politique de prix. Quant à la rapidité d'exécution, elle n'est pas si évidente dès lors que l'agriculteur peut faire participer femmes et enfants aux semailles, alors que bien souvent la conduite d'un attelage au semis mobilise trois personnes lorsque les animaux sont mal dressés. Par ailleurs, les conditions d'utilisation très précises, indispensables au bon emploi du semoir, sont rarement respectées.

Malgré ces contraintes et conditions d'utilisation peu satisfaisantes, le semoir s'est fortement développé au Sénégal (plus de 300 000 exemplaires) et à un degré moindre au Mali (50 000). Le semoir Super-éco, qui étend son quasi-monopole sur le semis mécanisé dans les divers pays du Sahel, est fabriqué au Mali et au Sénégal à des milliers d'unités.

Au Sénégal, le semis direct, en sec pour les céréales et à la première pluie utile pour l'arachide, est une pratique généralisée pour des raisons évidentes de rapidité d'exécution mais aussi par manque de puissance suffisante pour réaliser un travail du sol ; si cette méthode semble présenter des avantages en sol sableux, elle trouve très vite ses limites devant l'hétérogénéité des parcelles : sol dur, compact, gravillonneux, voire caillouteux.

■ Sarclage mécanique

A la houe attelée ou au multicultureur, il constitue le complément indissociable du semis en ligne. Sa pratique est très largement vulgarisée au Sénégal, très fréquente également au Mali, beaucoup moins dans les autres régions. Deux modèles ont obtenu la faveur des paysans et sont très répandus : la houe Occidentale au Sénégal et le multicultureur Siné au Mali et au Sénégal ; alors que le Burkina Faso en développait deux autres : la houe Triangle et la houe Manga à traction asine. Sur tous ces matériels, on retrouve les mêmes types d'étauçons (canadiens à lame de ressort) et de socs (sarclo-bineurs à patte d'oie). Notons qu'actuellement les étauçons les plus performants sont, sans conteste, les dents de type vibroculteur à profil en S avec étranglement de renfort.

■ Epannage d'engrais

En nappe et sur la ligne, il a fait l'objet de recherches ayant abouti mais non adoptées par les paysans, principalement pour des raisons économiques (engrais trop cher). Il faut noter aussi que l'épandage à faible dose pose quelques problèmes techniques, tassement dans la trémie, formation de voûte, prise en masse sous forte hygrométrie selon le type d'engrais, inconvénients qui, liés aux coûts (engrais + matériel), font que la mécanisation de cette opération n'apparaît pas prioritaire.

■ Buttage

Il reste une technique culturale assez peu pratiquée dans les zones sahéliennes, bien que son intérêt soit démontré dans le cadre général des techniques de meilleure gestion de l'eau, lorsque le buttage est complété par un cloisonnement du billon favorisant la retenue des eaux de pluie. Le Burkina Faso notamment tente à grande échelle la diffusion d'un cloisonneur de billons, sans succès affirmé jusqu'à présent.

■ Récolte de l'arachide à la souleveuse

Elle est assez largement pratiquée au Sénégal, dans une perspective d'intensification, et doit en partie son succès à la rapidité d'exécution de la récolte, ainsi effectuée à complète maturité, mais aussi à l'élimination du problème des "restes en terre", améliorant par là même le rendement (souveuse Firdou adaptée sur les divers bâtis de multicultureurs).

Dans certaines régions, au sud des zones de production arachidière, le soulèvement de l'arachide (très exigeant en puissance) peut être la seule technique mécanisée qui justifie, aux yeux des paysans, le recours à la traction bovine (cas des Terres neuves du Sénégal).

■ Battage de l'arachide

Gros consommateur de main-d'œuvre, il n'a pourtant pas fait l'objet d'une mécanisation paysanne bien que des matériels motorisés aient été proposés. Il est probable que le battage seul, réalisé par les hommes, est une opération relativement rapide alors que le vannage effectué par les femmes, en dehors du glanage, est un travail fastidieux mais qui peut s'étaler dans le temps (un mois voire plus), ce qui lui enlève tout caractère d'urgence.

En revanche, le battage du mil a fait l'objet d'une recherche ayant abouti à la mise au point d'une batteuse, fabriquée à l'usine de Pout au Sénégal et achetée le plus souvent par des commerçants qui travaillent en prestataires de services (batteuse Sismar ex-Siscoma, mais aussi Marot et Bourgoïn). Ces batteuses sont encore en service après une dizaine d'années d'activité.

■ Transport par charrettes à pneus

Surtout à traction asine et équine dans ces zones sahéliennes, il est sans doute la réussite la plus spectaculaire du développement de la culture attelée : plus de 100 000 charrettes au Sénégal, même chiffre annoncé au Mali, environ 50 000 au Burkina Faso.

■ Application de nématicide

Un appareil a été mis au point au début des années 80, à Bambey (un millier d'appareils utilisés au Sénégal, montés sur le semoir).

■ Les retombées de la mécanisation

Dans l'ensemble de la "région Sahel", les quantités de matériels en place font ressortir une très forte implantation à l'ouest et particulièrement au Sénégal (plus de 80 % des exploitations du bassin arachidier) ; celle-ci s'amenuisant rapidement à mesure que l'on s'éloigne vers l'est (les zones sahéliennes du Niger et du Tchad sont de fait peu mécanisées).

Le faible niveau moyen des rendements des principales cultures montre que l'adoption de la culture attelée ne s'est pas traduite par une intensification de l'agriculture, car cette mécanisation est utilisée essentiellement selon trois objectifs : l'agrandissement des superficies, l'exécution plus rapide des opérations culturales et la réduction de la pénibilité du travail.

D'autre part, on remarque que le développement de la culture attelée a favorisé l'essouchage non contrôlé et parfois excessif des terres, là où il est pratiqué. Dans les zones à forte densité démographique, cette extension a entraîné la disparition de la jachère et la colonisation des terres, peu propices à l'agriculture (Sénégal, HAVARD, 1988). Ces zones assuraient une protection contre l'érosion ainsi que la nourriture des troupeaux ; leur mise en culture a accentué les phénomènes érosifs. La suppression de la jachère, combinée à la faiblesse des apports organiques et minéraux, a aussi contribué à l'appauvrissement des sols.

De nouveaux outils

Les facteurs spécifiques au Sahel en matière de travail du sol ont conduit le CEEMAT à mettre au point et à développer de nouveaux outils adaptés aux attelages régionaux :

- une dent sous-soleuse pour le travail en sec ;
- un cultivateur roulant (rolculteur) pour la préparation en humide.

Les objectifs visés étaient les suivants :

- accroître les possibilités de travail avant les pluies afin d'améliorer l'infiltration des eaux tout en limitant au maximum l'érosion (travail à la dent) ;
- réaliser une préparation du sol accélérée dès les premières pluies (rolculteur) ;
- favoriser les semis précoces.

■ Dent de travail en sec

Les travaux menés par le CEEMAT, en collaboration avec l'IRAT, l'INERA au Burkina Faso et l'ISRA au Sénégal (Kaolack), sur trois campagnes montrent que l'éclatement du sol est possible en traction animale grâce à de nouvelles formes de dents et pointes.

Les efforts de traction relevés sont compatibles avec la puissance d'un attelage bovin sahélien et sont du même ordre que ceux d'une charrue : 70 à 85 kg en

moyenne selon la compacité du sol. Les efforts maximaux dépassent rarement 150 kg pour des pénétrations atteignant 15 cm. Il faut compter environ 10 à 12 heures par hectare pour un simple passage en lignes espacées de 50 cm, à une vitesse de 2,8 km/h ; on peut envisager aussi un travail à 80 cm, pour un semis sur la ligne travaillée (mil et sorgho).

Ce genre de travail peut être entrepris en fin de saison sèche, pratiquement de mars à mai, et n'entre donc pas dans le calendrier des travaux de début de campagne. L'importance des temps de travaux et des problèmes éventuels de fatigue des attelages se trouve réduite en permettant d'étaler les travaux sur 2 mois environ. Les effets positifs du travail à la dent dans la lutte antiérosive ont été clairement mis en évidence, particulièrement sous les premières pluies (SENE, 1989). Par contre, il exige une remise en état précoce des animaux de trait et donc la constitution de réserves fourragères suffisantes et de qualité pour compenser les dépenses énergétiques supplémentaires.

Ainsi la première précipitation importante autorise soit un semis direct, soit une préparation du lit de semences avec des outils plus classiques, d'où une précocité améliorée des semis et un cycle végétal mieux étendu dans le temps.

SENE (1989) signale que le travail à la dent favorise la descente des fronts d'humectation et racinaire dans tous les cas, et que c'est sur les sols profonds et sols lourds des plateaux que les effets du travail du sol sont les plus marqués. Les risques d'érosion sont réduits par la surface motteuse obtenue et par le peu d'éléments fins produit, qui se rassemblent en fond de raie. Les coûts sont relativement faibles car la dent peut s'adapter sur tous les types de bâtis polyvalents vulgarisés. Fabriquée à la Sismar une dent revient à environ 10 000 FCFA.

■ Cultivateur roulant ou roliculteur

Ce nouvel outil, pour une intervention en humide, composé essentiellement de deux rotors à lames d'un profil spécial, réalise une bonne préparation du lit de semences jusqu'à 10 cm de profondeur en terres légères, sablo-argileuses (sol non compact, humide mais ressuyé), et dont la végétation adventice n'est pas trop avancée. Toute la couche superficielle est retournée et très bien émietlée. Le profil de fond présente un micro-relief : les impacts des lames forment de petites cuvettes qui favorisent l'infiltration des eaux de pluie et réduisent l'érosion. Le roliculteur laisse un terrain bien plat et nivelé qui facilite l'utilisation d'un semoir sans autre intervention intermédiaire.

Deux versions sont disponibles : la première se compose de sept flasques ou disques, avec une largeur de travail de 55 cm, et convient pour un attelage léger à moyen ; la seconde comporte neuf flasques et dépasse 75 cm en largeur de travail. Le prix de cet appareil reste actuellement assez élevé mais devrait approcher le double du prix d'une charrue pour des séries importantes.

Vers une meilleure valorisation de la traction animale

De nombreux écrits, analysant l'intégration de la traction animale dans les systèmes de production agricole des zones sahéliennes, affirment bien souvent que celle-ci ne peut être économiquement rentable en l'absence de toute culture commercialisable dégageant un revenu monétaire. Si la plupart des expériences réussies montrent que cette technologie trouve des conditions nettement plus favorables dans les zones cotonnières pour cette raison évidente, il n'en reste pas

moins que ces mêmes analyses omettent souvent de prendre en considération toutes les ressources qu'offre la culture avec traction animale *.

Ainsi, bien que les capacités d'investissement des agriculteurs de ces zones restent très faibles, des possibilités de revenus substantiels se révèlent inexploitées telles que :

- l'optimisation et la diversification des opérations mécanisées et des attelages : nombreux sont encore les chercheurs et les agents de développement n'associant à l'idée de culture attelée qu'une ou deux opérations spécifiques (soit le labour soit le transport, et plus rarement les autres travaux) ;

- une meilleure gestion de carrière des animaux de trait, permettant de dégager une forte valeur ajoutée sur un attelage bovin ; certains paysans sénégalais l'ont bien compris quand ils engraisser leurs animaux de trait après seulement 3 à 5 ans au travail ;

- le dressage des génisses et l'emploi des vaches au travail, permettant une véritable intégration agriculture-élevage et de dégager les cinq "produits" traction animale : travail, lait, veau, viande, fumier.

En conséquence, il sera nécessaire, pour améliorer l'efficacité de la traction animale, d'orienter les efforts, en matière de recherche-développement, prioritairement vers l'animal.

Utilisation optimale des animaux de trait

Une meilleure cohérence de l'ensemble animal-harnachement-outil doit être recherchée :

- recours plus fréquent à la traction asine avec un seul animal mais aussi en paires, voire à plusieurs, à l'instar de ce qui se pratique depuis longtemps en Afrique de l'Est ;

- exploiter toutes les potentialités du cheval au travail : sélection, alimentation, harnachement, couplage par paires, attelages en flèche ou de front, etc. ;

- amélioration de la puissance des attelages par une meilleure alimentation et un relèvement de la qualité des dispositifs d'attelage (jougs, bricoles, etc.) ;

- meilleur dressage des animaux, généralisant le tandem "un homme, un attelage".

On notera une tentative d'introduction de buffles thaïlandais sur le fleuve Sénégal, qui semble bien engagée, mais dont il serait prématuré de tirer des enseignements.

Gestion de carrière des bovins de trait

En traction bovine, les recherches ont montré l'intérêt d'une carrière courte pour les bœufs de trait, 3 à 5 ans de travail avant embouche, afin d'exploiter au mieux l'efficacité des animaux encore jeunes. Il convient de signaler, pour que le paysan tire profit de cette activité, l'indispensable organisation de la filière viande.

* Les perspectives évoquées ici impliquent une amélioration de la nutrition et des soins aux animaux. Les solutions en matière d'alimentation ne relèvent pas sans doute de recherches fondamentales, mais elles exigent souvent des mises au point locales justifiant des actions de type "tests en milieu paysan" pour mieux connaître les possibilités d'insertion des innovations dans les systèmes de production : traitement chimique des fourrages pauvres, culture fourragère, complémentation de fabrication locale, etc.

Utilisation des vaches à la traction

A ce jour assez peu diffusée, excepté au Sénégal et dans une moindre mesure au Nord-Cameroun, elle mérite cependant le plus grand intérêt car elle seule permettra de s'acheminer vers une véritable intégration agriculture-élevage. Il est reconnu que les vaches développent une puissance à peine inférieure à celle des bœufs. Moins massives mais plus rapides, elles assurent en même temps la production de veaux avec un taux de fécondité nettement supérieur à l'élevage extensif parce que mieux suivies sanitairelement et en principe mieux nourries. Elles contribuent ainsi au renouvellement du troupeau tout en fournissant une production de lait non négligeable.

Mise au point d'outils plus performants

Le choix raisonné des instruments de culture, basé non exclusivement sur des principes agronomiques, devra prendre en compte le système de production dans son environnement socio-économique. Ainsi, le labour à la charrue ne nous semble pas être une solution pertinente de préparation du sol, excepté s'il y a restitution de matières organiques ou fumure minérale de fond, et ce bien que les résultats de la recherche, en station, aient démontré ses effets bénéfiques.

Pour les cultures sèches, implantées en semis monograine, on peut considérer que l'on dispose d'une gamme d'outils cohérents. Le problème reste plus du domaine du développement que de celui de la recherche. Il resterait cependant à étudier la viabilité de certaines techniques, en plus de celles déjà détaillées plus haut sur le travail du sol : semoir à céréales en poquet, semoir de semis direct, épandeur d'engrais phosphaté.

Les matériels spécifiques pour la riziculture inondée sont assez peu répandus, pour des raisons de coût, de quantités limitées, et de faibles surfaces rizicoles par exploitation. On ne peut utiliser actuellement, pour cette culture, que les équipements disponibles dans les zones pluviales. Il resterait donc à tester les matériels déjà employés en d'autres lieux et éventuellement mettre au point une gamme de matériels adaptés aux conditions rizicoles des plaines inondables, avec ou sans maîtrise de l'eau, proposons à la vulgarisation.

Dans l'optique de l'amélioration de l'alimentation animale, il serait judicieux d'entreprendre l'étude d'une chaîne de matériels de récolte de fourrage (fauchage, fanage, mise en bottes, hachage de pailles), étude liée à la mise en place de cultures fourragères, au ramassage de résidus de récolte et à l'introduction des techniques d'ensilage.

Une politique agricole cohérente

On ne peut qu'espérer que les pouvoirs publics, avec l'appui de toutes les instances de développement, mettent en place une politique agricole cohérente basée sur les actions suivantes :

- une réforme hardie du système foncier, qui garantisse un usufruit de la terre pour les agriculteurs qui la travaillent ; il s'agit là de la clé de voûte du système de production avec traction animale bovine, intégrant l'entretien de la fertilité et la restauration des sols (aménagement, fumure de fond, protection antiérosive, etc.) ;

sans une réelle garantie de pérennité sur son exploitation, l'agriculteur refusera toujours de s'investir au-delà du court terme ;

- un soutien officiel à l'approvisionnement en équipements de qualité : dans la situation actuelle, on a que trop tendance à procéder par appel d'offres et à traiter avec le moins-disant sans contrôle de qualité, au lieu de privilégier le rapport qualité/prix ; les conséquences sur le développement en sont désastreuses et pénalisent finalement le producteur (Tchad) ;

- le maintien d'un système de crédit avantageux pour le producteur et non pour la banque ;

- le souci d'allonger la durée de vie des équipements et des attelages par la prise en compte des problèmes de maintenance : réseau de forgerons-réparateurs...

Enfin, il est indispensable de renforcer la formation à tous les niveaux, ingénieurs, techniciens, cadres et paysans, afin d'éviter de perdre les acquis, comme cela semble déjà s'observer sur le terrain, au passage d'une génération à l'autre. Dans les cycles d'enseignement, en Afrique, la place faite à l'étude de la culture avec traction animale est bien souvent réduite à la portion congrue ; combien de cadres ruraux, ingénieurs ou techniciens, sont encore capables de maîtriser parfaitement cette technologie dans son ensemble à leur sortie d'école ?

Bibliographie

- BORDET D., LHOSTE P., LE MOIGNE M., LE THIEC G., 1988. La traction animale : état de l'art. Montpellier, CIRAD-CEEMAT, 195 p.
- FAYE A., HAVARD M., 1988, Eléments d'analyse de la situation actuelle de la culture attelée au Sénégal. Perspectives d'études et de recherche. *In* : Animal power in farming systems. Proceedings of a workshop held in Freetown (Sierra Leone), 19-26 September 1988. Eschborn, GTZ.
- HAVARD M., 1985. Les matériels et les techniques de mise en valeur des ressources énergétiques disponibles en milieu rural au Sénégal. Dakar, ISRA, 18 p.
- HAVARD M., 1985. Principales caractéristiques et contraintes de gestion du parc de matériel de culture attelée du Sénégal. Dakar, ISRA.
- HAVARD M., 1986. Les principaux types de travaux du sol effectués par la traction animale au Sénégal. *Observations et mesures utiles pour leur caractérisation dans les essais agronomiques*. *Machinisme Agric. Trop.*, 93 : 6-15.
- HAVARD M., 1987. Comment évolue le niveau d'équipement en culture attelée des paysans depuis l'arrêt du Programme agricole en 1980 ? Dakar, ISRA, 19 p.
- HAVARD M., 1988. La culture attelée au Sénégal. Dakar, IRAT-ISRA, 51 p.
- LE THIEC G., BORDET D., 1988. Essais et mise au point d'outils de travail du sol à traction animale. *Machinisme Agric. Trop.*, 102 : 30 p.
- M'BENGUE H., FALL A., HAVARD M., 1989. Les programmes et projets de mécanisation au Sénégal. Propositions d'actions. Dakar, ISRA, 32 p.
- SENE M., 1989. Quelques caractéristiques de l'enracinement de l'arachide dans le sud-est du bassin arachidier du Sénégal. Kaolack, ISRA, 20 p.

La protection des cultures

**Michel Launois
CIRAD-GERDAT**

**Patrice Garin
Pierre-Marie Bosc
CIRAD-SAR**

Table des matières

Les acridiens	223
Les peuplements acridiens	223
Les dégâts acridiens	223
Les acquis de la recherche	224
Les transferts de résultats	226
Une biomodélisation descriptive et prévisionnelle	226
Bibliographie	228
Quelques repères pour la protection des cultures	229
Les principaux ravageurs et leur impact sur la productivité	230
Les céréales en culture pluviale	230
Les légumineuses alimentaires	231
Les moyens de lutte	232
Les stratégies d'intervention pour l'avenir	233
Bibliographie	236

Ce chapitre sur la protection des cultures au Sahel se compose de deux contributions distinctes.

L'une, rédigée par Michel LAUNOIS, traite des principaux acquis de la recherche en matière de lutte antiacridienne au Sahel.

L'autre, rédigée par Patrice GARIN et Pierre-Marie BOSC, présente les acquis importants en matière de protection des cultures pour les principales espèces cultivées au Sahel.

Les acridiens

Dans l'immensité du Sahel vivent environ deux cents espèces d'acridiens qui se répartissent dans des biotopes très variés entre la limite nord très aride, qui coïncide avec la frange sud du Sahara central, et la limite sud avec des zones plus humides donc plus favorables à l'agriculture.

La plupart d'entre elles (environ 70 %) n'ont aucune incidence économique car elles ne causent aucun dégât notable aux cultures. Elles contribuent cependant d'une manière importante, sur le plan de la biomasse de l'entomofaune épigée, à l'entretien des chaînes alimentaires et permettent la survie de nombreux organismes. Les 30 % restants concernent des acridiens qui, occasionnellement ou de manière chronique, sont susceptibles de commettre des dégâts sur les cultures de subsistance ou de rente.

Les peuplements acridiens

Chaque espèce acridienne a un tempérament écologique qui l'oblige à coloniser les milieux qui lui conviennent le plus longtemps possible ou dont elle peut s'accommoder grâce à divers mécanismes de résistance (quiescence, diapause, déplacements adaptatifs, etc.). Ainsi, on constate une régionalisation écologique dans la répartition des espèces : au sud du Sahel, on peut découvrir dans des zones assez vastes jusqu'à 150 espèces, alors qu'au nord le nombre d'espèces diminue à 50 environ. Sur le plan des stations écologiquement homogènes, la sélection est encore plus sévère : les peuplements acridiens les plus complets regroupent souvent plus d'une vingtaine d'espèces, les plus pauvres pouvant se réduire à quelques espèces sinon à une seule.

Dans les cultures vivrières, on trouve fréquemment au Sahel un peu plus d'une dizaine d'espèces vivant ensemble, ou plutôt se trouvant dans le même espace rudéralisé, sans entretenir entre elles des relations particulières, à de rares exceptions près. Assez généralement, les espèces des cultures traditionnelles sont les mêmes à l'intérieur d'une même zone écoclimatique. Seule leur abondance relative change en fonction des conditions environnementales locales et des effets historiques des années antérieures à l'observation. Tout se passe comme si "le bruit de fond" acridien restait assez homogène dans ses composantes, les méthodes culturales et surtout les conditions écométéorologiques pouvant favoriser les pullulations de certaines espèces et au contraire en défavoriser d'autres, année après année.

A partir d'une mosaïque acridienne dont les composantes sont assez stables, il existe toutefois des éléments fluctuants qui peuvent être des espèces à grand débattement démographique ou à capacité de déplacement à grande distance. Une espèce discrète peut devenir d'un seul coup envahissante, soit par multiplication sur place, soit par apport de l'extérieur. Si l'acridien concerné s'intéresse particulièrement aux plantes cultivées, il devient un ravageur et des mesures pour le combattre s'imposent.

Les dégâts acridiens

Pour qualifier les acridiens au Sahel, on utilise volontiers trois adjectifs : sauteurs, stridulants, dévorants. L'appétit des criquets est connu et redouté. Chaque individu consomme approximativement par jour son propre poids de matière végétale fraîche pour en retenir souvent moins de 20 % du poids sec qu'il ingère. De

surcroît, le danger est multiplié par le nombre d'individus, qui devient énorme lorsqu'il y a pullulation. Enfin, durant certains états phénologiques, les plantes cultivées sont très vulnérables ou présentent un degré d'attractivité élevé pour certaines espèces.

A partir de ce constat, on a tendance à croire que les dégâts infligés par les acridiens se réduisent à un prélèvement sur les feuilles, occasionnellement sur les fruits. En réalité, les criquets détruisent plus qu'ils ne consomment, soit en entraînant un dessèchement des parties vertes, soit par surinfection par des champignons, des bactéries ou des virus. Le rendement d'une culture peut être affecté par réduction de la photosynthèse faisant suite à une disparition partielle des surfaces foliaires. L'espérance de récolte peut être anéantie quand les plantules sont entièrement détruites ou les fruits consommés. Dans le cas des semis, l'obligation pour les paysans de ressemer plusieurs fois entraîne évidemment une réduction des réserves de graines pour l'alimentation mais encore un risque climatique à cause d'un décalage important du calendrier cultural. L'effet d'une défoliation partielle sur la récolte est plus difficile à évaluer, car, en cas de déficit hydrique, elle peut même être bénéfique pour la production de grain. Enfin, les chandelles de mil, les panicules de sorgho, les épis de maïs sont très vulnérables aux attaques acridiennes lorsque les grains sont à l'état laiteux. On a vu des paysans récolter de nuit pour prendre de vitesse les acridiens.

Quantitativement, on évalue à quelques pour cent les pertes de récolte qui se produisent chaque année au Sahel à cause des criquets, avec des variations de un à dix selon que la période est calme ou au contraire critique. Les pertes oscillent donc entre quelques dizaines de milliers et quelques centaines de millions de tonnes de céréales, dont la plupart ne sont de toute manière pas comptabilisées dans l'économie de marché puisqu'elles auraient dû servir à la subsistance des populations rurales.

Par suite du caractère spectaculaire des fléaux acridiens et des incidences politiques en cas de franchissement des frontières par les ailés, la mobilisation des ressources en période de crise est rapide lorsqu'il y a évidence physique du fléau, et la communauté internationale peut se montrer généreuse, même si l'efficacité finale des prestations est limitée. En 1989, on a pu réunir jusqu'à 97 millions de dollars US en lutte antiacridienne à partir de 47 donateurs. De 1986 à 1990, un minimum de 265 millions de dollars US ont été consacrés pour tenter de contrôler les fléaux acridiens en Afrique et au Moyen-Orient.

L'état de crise a pour effet indirect de mettre en place des systèmes d'aide qui modifient le profil d'activité des services nationaux de protection des végétaux et entraînent des négligences sur le plan de la protection phytosanitaire dans d'autres domaines, toutes les ressources humaines, matérielles et financières étant mobilisées contre les acridiens.

On a vu des villages entiers au nord du Sahel désertés par leurs habitants à cause de pullulations catastrophiques de criquets se répétant plusieurs années de suite.

Les acquis de la recherche

La recherche de laboratoire a souvent utilisé le matériel acridien, car quelques espèces se prêtent bien à des élevages de masse et remplacent parfois la souris blanche ou la drosophile comme support d'études biologiques. De nombreux acquis sur la physiologie ont permis de mieux comprendre l'insecte dans son milieu naturel. De son côté, la recherche de terrain a su acquérir ses lettres de noblesse

grâce à des apports méthodologiques importants permettant de mieux comprendre la vie des acridiens sans les mettre en cage. On peut citer l'utilisation du radar pour détecter les ailés en vol de nuit, l'interprétation de l'aspect des ovaires d'une femelle capturée pour reconstituer sa vie reproductive, le marquage naturel des populations, l'identification des résidus alimentaires contenus dans les fèces, la datation des ailés par observation des stries d'accroissement tégumentaire ou de l'usure de la pilosité par abrasion, les méthodes d'enquête épidémiologique, les analyses multifactorielles de situations réelles, la biomodélisation. Le chercheur praticien est de mieux en mieux armé pour comprendre les contraintes que subissent les criquets sur le triple plan de la natalité, de la mortalité et de la dispersion, éléments fondamentaux de toute étude démographique.

L'acquisition des connaissances a porté sur l'identification des ravageurs à tous les états et stades biologiques, l'analyse des situations vécues, en utilisant systématiquement des descripteurs codifiés et en évaluant les problèmes économiques que posent les acridiens. On peut citer à titre d'exemple :

- la connaissance des habitudes des acridiens dans les différents contextes écologiques naturels, normaux ou exceptionnels, en mettant en évidence les étapes de développement permettant à chaque espèce de résister aux conditions adverses ;
- la prévision des situations par biomodélisation, rendue possible par la connaissance des principaux types de réponse que peut faire un acridien en présence de types d'environnement qu'il peut rencontrer dans son aire d'habitat ;
- la maîtrise des fléaux, en faisant progresser la lutte préventive, la lutte curative et la lutte palliative par tous les moyens possibles, l'objectif étant d'obtenir le meilleur résultat (protection des récoltes) au meilleur coût et avec les effets les moins dommageables sur l'environnement.

La documentation disponible sur les acridiens du Sahel est devenue très abondante ; son utilisation pratique vise à répondre à quatre questions :

- quelle cible doit-on retenir pour contrôler un fléau ?
- où intervenir ?
- quand intervenir ?
- comment intervenir ?

Les progrès les plus importants concernent les 13 principaux acridiens ravageurs du Sahel :

- AMM : *Anacridium melanorhodon melanorhodon* (Walker, 1870),
- ASI : *Aiolopus simulatrix* (Walker, 1870),
- CCY : *Cataloipus cymbiferus* (Krauss, 1877),
- CHA : *Cryptocatantops haemorrhoidalis* (Krauss, 1877),
- DAX : *Diabolocatantops axillaris* (Thunberg, 1815),
- HDA : *Hieroglyphus daganensis* (Krauss, 1877),
- KAN : *Kraussaria angulifera* (Krauss, 1877),
- LMM : *Locusta migratoria migratorioides* (Reiche et Fairmaire, 1850),
- OCA : *Ornithacris cavroisi* (Finot, 1907) *,
- OSE : *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877),
- SGR : *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775),
- ZVA : *Zonocerus variegatus* (Linné, 1758).

* *Ornithacris turbida cavroisi* (Finot, 1907), abréviation OTC, est devenu *Ornithacris cavroisi* (Finot, 1907), abréviation OCA.

Les transferts de résultats

La diffusion des résultats de la recherche sur le terrain se fait par quatre circuits simultanés : le réseau SAS, la diffusion de matériels pédagogiques, la formation des nationaux, le transfert technologique.

Le réseau SAS (Surveillance des acridiens au Sahel) existe depuis 5 ans. En 1990, 18 lettres d'information ont été éditées et diffusées en français et en anglais dans 98 pays (pays victimes des acridiens et pays donateurs), auprès de 3 000 correspondants. Environ 20 000 personnes les lisent (opérateurs, décideurs, journalistes) et ces lettres sont devenues de véritables cours par correspondance si l'on en juge par la diffusion des idées exprimées. Les résultats de la recherche sont exposés en des termes simples, tout en indiquant les références techniques et scientifiques.

Les documents pédagogiques sont de plus en plus nombreux et leur qualité s'améliore constamment. Le PRIFAS* participe à la rédaction de brochures, de guides pratiques, d'affiches, de matériels pédagogiques spéciaux avec des institutions variées. La collection "Acridologie opérationnelle", qui comprend sept titres, est largement diffusée dans le Sahel par le département de formation en protection des végétaux du programme Agrhymet**.

La formation se dispense à tous les niveaux, du prospecteur au cours post-universitaire, soit en France, soit en Afrique, avec la participation de diverses structures nationales, régionales ou internationales. Des centaines d'élèves ont été formés, ils sont devenus des correspondants privilégiés et bénéficient d'une information rapide sur tous les produits nouveaux utilisables dans leur pays.

Enfin, grâce au soutien financier du ministère français de la Coopération et du Développement, il a été possible d'offrir à six pays du Sahel (Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Tchad) et à une institution régionale (Agrhymet) le matériel informatique nécessaire à l'usage décentralisé du biomodèle spécifique au Criquet sénégalais, *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877). En 1990, les opérateurs ont pu repérer tous les dix jours les zones à haut risque de pullulations acridiennes et connaître le détail de la dynamique locale des populations en n'importe quel point de l'aire d'habitat de l'espèce au Sahel.

Une biomodélisation descriptive et prévisionnelle

S'il y a des acridiens partout au Sahel pendant les campagnes agricoles, un peu plus d'une dizaine d'espèces seulement posent de vrais problèmes de défense des cultures. Le propos n'est pas de détruire de façon inconsidérée tous les criquets de l'agrocénose mais d'identifier les espèces les plus nuisibles, de connaître leur vulnérabilité et d'agir avec les moyens appropriés au meilleur moment et au bon endroit.

* Acridologie opérationnelle. Ecoforce internationale.

** Centre régional de formation et d'application en agrométéorologie et hydrologie opérationnelle pour les pays du Sahel.

Le PRIFAS, pour sa part, a donné la priorité aux recherches de terrain, relayant les laboratoires pour les thèmes non abordables dans la nature sous conditions contrôlées. Il a mis au point de nombreuses méthodes d'évaluation de situations, qui ont permis de faire progresser significativement les connaissances et de se servir de celles-ci pour tenter, chaque fois que c'est possible, une biomodélisation descriptive et prévisionnelle. L'objectif a été atteint pour le Criquet sénégalais *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877) et le Criquet migrateur *Locusta migratoria* (Linné, 1758), il est en voie de l'être pour le Criquet pèlerin *Shistocerca gregaria* (Forskal, 1775).

Parallèlement aux études bio-écologiques, des actions complémentaires sont menées en matière de formation, d'information acridienne et de surveillance et de lutte antiacridienne, afin que les recherches soient insérées dans un ensemble opérationnel cohérent, la réflexion partant du terrain, les déductions utiles y revenant en un système interactif permanent.

Bibliographie

- ANTON J.F., LAUNOIS M., LAUNOIS-LUONG M.H., LECOQ M., 1982. Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche. Paris, Ministère des Relations extérieures et du Développement, Montpellier, GERDAT, 2 tomes, 1496 p.
- CHIFFAUD J., MESTRE J., 1990. Le Criquet puant, *Zonocerus variegatus* (Linné, 1758). Paris, Ministère de la Coopération et du Développement, Montpellier, CIRAD-PRIFAS, 140 p.
- DURANTON J.F., LAUNOIS M., LAUNOIS-LUONG M.H., LECOQ M., RACHADI T., 1987. Guide antiacridien du Sahel. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement, Montpellier, CIRAD-PRIFAS, Paris, 344 p.
- DURANTON J.F., LECOQ M., 1989. Le Criquet pèlerin au Sahel. Niamey, CILSS-DFPV, 183 p. (coll. Acridologie opérationnelle, n° 6).
- LAUNOIS M., LAUNOIS-LUONG M.H., 1989. *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877), sauteriau ravageur du Sahel. Niamey, CILSS-DFPV, 72 p. (coll. Acridologie opérationnelle, n° 4).
- LAUNOIS-LUONG M.H., LAUNOIS M., RACHADI T., 1988. La lutte chimique contre les criquets du Sahel. Niamey, CILSS-DFPV, 83 p. (coll. Acridologie opérationnelle, n° 3).
- LAUNOIS-LUONG M.H., LECOQ M., 1989. Vade-mecum des criquets du Sahel. Niamey, CILSS-DFPV, 126 p. (coll. Acridologie opérationnelle, n° 5).
- LECOQ M., 1988. Les criquets du Sahel. Niamey, CILSS-DFPV, 129 p. (coll. Acridologie opérationnelle, n° 1).
- LECOQ M., 1988. La surveillance des sauteriaux du Sahel. Niamey, CILSS-DFPV, 62 p. (coll. Acridologie opérationnelle, n° 2).
- MESTRE J., 1988. Les acridiens des formations herbeuses d'Afrique de l'Ouest. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement, Montpellier, CIRAD-PRIFAS, 330 p.
- RACHADI T., 1991. Précis de lutte antiacridienne. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement, Montpellier, CIRAD-PRIFAS, 278 p.

Quelques repères pour la protection des cultures

Les conditions climatiques sahéliennes, qui impriment au milieu de fortes contraintes hydriques, rendent cet environnement relativement peu favorable au développement des ennemis des cultures. Cependant, dans les régions sahéliennes, pèse sur les systèmes de culture la menace de nombreuses maladies ou ravageurs dont les risques de développement sont loin d'être négligeables pour les producteurs. Dans certaines situations agricoles, la dégradation des conditions de culture accroît de manière sensible un risque phytosanitaire renforcé par l'aléa climatique, qui peut favoriser la propagation d'une maladie ou d'un ravageur.

Le pression des ravageurs et ennemis des cultures n'est donc pas nécessairement négligeable au Sahel malgré des conditions phytosanitaires plus favorables que dans les régions soudaniennes ou forestières. Cette pression pourrait même s'accroître sous l'influence concomitante de facteurs très divers qui ont eu pour effet, ces dernières décennies, de perturber les équilibres écologiques anciens.

Parmi ces facteurs, on peut relever les suivants.

- Une évolution de l'environnement physique, à travers :
 - l'artificialisation du milieu, particulièrement sur les périmètres hydro-agricoles ;
 - l'accroissement des surfaces cultivées et la régression des jachères longues, au profit essentiellement de cultures continues de céréales ;
 - des sécheresses successives.
- Une évolution des groupements végétaux en parcelles cultivées :
 - avec l'avènement de populations sélectionnées, qui composent des peuplements dont le comportement vis-à-vis des pathogènes est beaucoup plus homogène ;
 - avec l'extension des cultures pures au détriment des associations.
- Le développement des échanges de produits végétaux entre les différents pays de la région et même entre continents. Celui-ci a pu également favoriser l'introduction ou l'extension de certains prédateurs.

Si les rendements en zones sahéliennes demeurent tributaires en général de l'alimentation hydrique et minérale des cultures, les pertes occasionnées par des problèmes phytosanitaires peuvent anéantir localement certaines productions. Nous présenterons succinctement, dans une première partie, les principaux ennemis des cultures, en y adjoignant si possible les estimations de perte de production qu'ils occasionnent. Une seconde partie donnera un aperçu sur les moyens de protection actuellement disponibles, avec un tableau synthétique par plante.

Une esquisse des stratégies de lutte envisagées à moyen terme servira de conclusion.

* Les auteurs remercient J.L. NOTTEGHEM, chargé de la Mission défense des cultures au CIRAD, pour les observations constructives qu'il a apportées sur ce texte. Les erreurs d'appréciation qui subsisteraient demeurent de notre responsabilité.

Les principaux ravageurs et leur impact sur la productivité

Les céréales en culture pluviale

■ MII

Les contraintes biotiques ont tendance à s'accroître suivant le même gradient nord-sud que la pluviométrie, surtout pour les problèmes phytopathologiques.

Compte tenu de niveaux de résistance intéressants des populations locales, les maladies ont une incidence faible sur la production (WILLIAMS et ANDREWS, 1982). Pour celles dont l'incidence est plus forte, on signale par ordre d'importance décroissant :

- le mildiou (*Sclerospora graminicola*) surtout en année humide : jusqu'à 40 % de pertes (SCHENNING, 1980) mais souvent moins (NIANGADO et OUENDEBA, 1987) ;
- le charbon (*Tolyposporium penicillaria*) : pertes estimées à 3 % (RECKHAUS, 1987) ;
- l'ergot (*Claviceps fusiformis*) en zones soudano-sahéliennes est surtout gênant par la pollution des grains avec un neurotoxique (THAKUR et CHAHAL, 1987).

Les contraintes entomologiques sont relativement importantes et, parmi la douzaine de prédateurs ayant un impact économique certain, on retiendra surtout :

- les foreurs des tiges (*Acigona ignefusalis* et *Sesamia* sp.) ;
- les mineuses de l'épi (*Raghuva* sp., *Masala* sp., *Adisura* sp.) dont l'importance s'est accrue avec les sécheresses (NDOYE et GAHUKAR, 1987) ;
- localement, certaines espèces de Meloïdes (dont *Psalydolytta* sp.) ;
- les iules, à la levée (*Peridontogyre* sp.), qui peuvent obliger à des ressemis successifs.

■ Sorgho

Les sorghos traditionnels, par leur adaptabilité et leur rusticité, subissent peu de dommages sous la pression des maladies, sauf cas rares d'explosions parasitaires locales, de charbon par exemple (*Sphacelothera* sp.) (CHANTEREAU et NICOU, 1991). Pour les cultivars sélectionnés, on notera aussi :

- la maladie des bandes de suie (*Ramulispora sorghi*) et l'anthracnose (*Colletotrichum graminicola*), pour les maladies foliaires ;
- la pourriture charbonneuse (*Macrophoma phaeolina*), pour les tiges et racines ;
- les moisissures des grains, surtout en conditions humides en fin de cycle, qui déprécient considérablement les qualités organoleptiques et les facultés germinatives des variétés à panicules compactes.

Par contre, les contraintes entomologiques sont importantes à l'installation des cultures et à la floraison :

- la cécidomyie du sorgho (*Contarinia sorghola*) peut réduire le rendement de 50 à 90 % par destruction des grains ;
- les iules à la levée (*Peridontogyre* sp.), les termites courtilières (*Orylotalpa africana*) occasionnent parfois de sérieux manques à la levée, plus graves que pour le mil car le nombre de grains semés par poquet est moindre ;
- les foreurs des tiges, en particulier les prédateurs des jeunes plants ("cœur mort"), occasionnent des pertes de plus de 50 % surtout dues à *Busseola fusca* et *Atherigona socata* (CHANTEREAU et NICOU, 1991).

■ Riz

Parallèlement au développement et à l'intensification de la riziculture irriguée au cours des années 70, dans les périmètres hydro-agricoles sahéliens, la pression parasitaire s'est accrue et devient préoccupante. Elle risque de s'aggraver encore si les travaux de création variétale sur le riz permettent de pratiquer la double culture. En phytopathologie, NOTTEGHEM et BAUDIN (1981) donnent le classement suivant par ordre décroissant :

- la pyriculariose (*Pyricularia oryzae*) ;
- rhynchosporiose (*Rhynchosporium oryzae*), cercosporiose (*Cercospora oryzae*), flétrissement des grains (*Rhizoctonia solani*) sont également importants ;
- une des viroses est en extension, la panachure jaune du riz (RYMV), de même qu'une bactériose, le flétrissement bactérien (*Xanthomonas oryzae*).

Parmi les insectes, on peut citer surtout :

- les foreurs des tiges et la cécidomyie du riz (*Orseolia oryzivora*), qui peuvent anéantir des récoltes entières (POISSON, 1989) ;
- *Diopsis thoracica*, *Maliarpha separata* et *Chilo zacconius*, qui peuvent provoquer des chutes de rendement de 20 à 30 % (POISSON, 1989).

Les légumineuses alimentaires

■ Arachide (d'après R. SCHILLING)

A la levée, de nombreux champignons dont *Aspergillus niger* peuvent réduire la densité de 50 %, surtout lorsque leur installation sur la plantule ou la graine est favorisée par les morsures de myriapodes (iules) et insectes divers.

La rosette, les cercosporioses (*Cercospora arachidicola* et *Cercosporidium personatum*) et plus récemment la rouille (*Puccinia arachidis*) occasionnent parfois des pertes supérieures à 50 %.

Compte tenu de gains de productivité de l'ordre de 50 % obtenus grâce à l'usage des nématicides dans le centre-nord du Sénégal, la lutte contre les nématodes (dont *Scutellonema cavenesi*) fait l'objet de nombreux programmes de recherche.

Cependant, les résultats obtenus, s'ils sont prometteurs, ne sont pas encore pleinement satisfaisants et des améliorations demeurent nécessaires voire indispensables dans certaines situations particulièrement infestées. Cela implique notamment des recherches sur la toxicité des produits employés, à base de brome, dont l'usage est interdit mais aussi sur l'utilité de mettre au point une matière active plus spécifique ayant une efficacité totale pour éliminer toute possibilité de reprise des cycles reproductifs des nématodes.

■ Niébé

Le parasitisme important dont souffre le niébé est une des contraintes majeures qui expliquent sa faible extension depuis les zones purement sahéliennes vers les régions plus soudanaises, et les réticences des paysans sahéliens à conduire cette production en culture pure.

Parmi les pathogènes pouvant affecter les rendements à plus de 30 %, on note (LOUETTE *et al.*, 1984) les cercosporioses (*Cercospora* sp.), la rouille (*Curomyces* sp.), les mosaïques.

Les insectes pouvant réduire considérablement les rendements sont très nombreux, avec entre autres : les pucerons vecteurs de viroses, les méloïdés, les foreurs des graines, les thrips, les punaises, les chenilles défoliatrices (*Maruca*).

Les parasites, comme le *Striga*, posent également de nombreux problèmes dans certaines situations.

Les moyens de lutte

Ils peuvent être de trois types :

- les méthodes indirectes, qui limitent les risques d'infestation par des techniques agronomiques ou sanitaires ;
- les méthodes de lutte directe, chimique ou biologique ;
- le contournement du risque phytosanitaire par des variétés résistantes.

■ Les techniques agronomiques ou sanitaires

Dans le premier type, en dehors des recommandations usuelles sur le choix de graines ou de plants sains d'aspect et des mesures de stockage appropriées pour les semences (J.F. CRUZ et J. FAURE), il s'agit surtout d'implanter la culture dans un environnement qui lui soit le moins défavorable possible, essentiellement par des techniques agronomiques.

● Choix raisonné des rotations

La réduction de 80 % de l'infestation, par les nématodes, dans les périmètres maraîchers des Niayes au Sénégal, grâce à l'introduction d'une sole de *Panicum maximum* de 18 mois dans les rotations, en est une illustration (G. MANDRET). Néanmoins, cette réduction demeure insuffisante étant donné la capacité des nématodes à accomplir rapidement leur cycle reproductif.

● Destruction ou traitement des résidus de la culture précédente

Le brûlis ou le pâturage des chaumes de céréales présente l'avantage de réduire les populations d'insectes en diapause et freine l'infestation précoce des maladies (le mildiou du mil ; ICRISAT, 1987), surtout pour les maladies à sclérotés (NOTTEGHEM et BAUDIN, 1981). L'ensachage des tiges de mil donne des résultats analogues au brûlis pour lutter contre les foreurs des tiges du mil (NDOYE et GAHUKAR, 1987). Cependant, ce procédé demeure difficile d'application en situation paysanne compte tenu de la charge en main-d'œuvre que cela représente.

● Travail du sol

Le labour profond, en particulier, peut limiter les pullulations de certains prédateurs importants, par exemple les pyrales du riz.

● Choix de la date de semis

La précocité de l'implantation peut être un avantage, par exemple pour réduire les dégâts de la cercosporiose sur arachide (R. SCHILLING), alors qu'il sera préférable de semer tardivement des variétés de mil à cycle court, par exemple pour lutter contre les mineuses de l'épi (VERCAMBRE, 1981).

Les fortes fumures azotées et les peuplements importants d'adventices augmentent généralement les risques phytosanitaires, en créant un milieu plus confiné favorable aux ravageurs. Les apports de phosphore et de potasse réduisent le plus souvent ces risques sanitaires (NOTTEGHEM et BAUDIN, 1981).

Cependant, au Sahel, les techniques culturales sont choisies en priorité en fonction de leur pertinence vis-à-vis de l'alimentation hydrique ou minérale des plantes. En dehors des choix variétaux et des traitements phytosanitaires, et sauf exception locale, la lutte contre le parasitisme ne peut être qu'un critère de choix très secondaire dans les itinéraires techniques proposés.

■ La lutte chimique et biologique

La lutte directe, par des traitements chimiques en cours de végétation, se heurte essentiellement à la non-rentabilité de tels procédés sur les cultures sahéliennes, y compris en riziculture irriguée (NOTTEGHEM et BAUDIN, 1981), exception faite des

cultures maraîchères (H. DE BON), et à un degré moindre peut-être des traitements nématicides sur arachide (R. SCHILLING).

Les traitements des semences sont, le plus souvent, justifiés économiquement, compte tenu à la fois du faible coût des intrants nécessaires par unité de surface, et de la sécurisation de la phase d'installation des cultures ainsi apportée, qui est généralement déterminante pour le rendement final.

Ces traitements combinent le plus souvent fongicide et insecticide. Pour l'arachide, le coût d'un tel traitement est, par exemple, d'environ 1 000 FCFA/ha au Sénégal, pour une perte estimée entre 5 000 et 50 000 FCFA sans protection iulicide et fongicide. De telles propositions sont disponibles également pour le mil – gains de 10 à 16 % (ICRISAT, 1987) –, le riz, le niébé, le sorgho et les principales cultures maraîchères.

La lutte biologique est encore peu développée pour les prédateurs de la zone sahélienne. De nombreux ennemis naturels de la plupart des ravageurs des cultures essentielles ont été identifiés. *"Mais ces parasites sont peu actifs en saison sèche, en raison des conditions climatiques et de la diapause de l'insecte hôte. Ceci entraîne un décalage entre la dynamique du parasite et celle de l'insecte hôte, et l'entomofaune auxiliaire n'arrive pas à maîtriser les infestations."* (NDOYE et GAHUKAR, 1987).

Cependant, de la préservation de cette faune auxiliaire utile (par exemple contre *Orseolia oryzivora*, cécidomyie du riz ; BETBEDER-MATIBET, 1989), en renonçant à certaines matières actives, au lâcher de parasites (lâchers de *Bracon hebetor* pour lutter contre la mineuse de l'épi du mil par exemple ; d'après NDOYE et GAHUKAR, 1987), la lutte biologique pourrait connaître un développement important dans le moyen terme, pour combattre les principaux insectes ravageurs des cultures au Sahel.

■ Les variétés résistantes

Pour le producteur, les variétés résistantes constitueraient la solution la plus simple et la plus économique. De nombreux cultivars ont été sélectionnés pour lever en priorité une contrainte phytopathologique (rosette pour l'arachide, pyriculariose pour le riz, cercosporiose pour le niébé...).

La nature de la résistance d'une plante vis-à-vis d'un parasite définit les limites de cette protection :

- la résistance générale, polygénique est efficace contre l'ensemble des souches d'un parasite ; cette résistance horizontale, quantitative, généralement stable, est donc la plus sûre à long terme ;
- les résistances spécifiques, totalement efficaces contre certaines souches d'un parasite, nécessitent de prévoir une rotation, à moyen terme, de variétés possédant des gènes de résistance différents.

Pour le riz, par exemple, les travaux de sélection variétale se basent essentiellement, pour chaque maladie, sur des cultivars à bonne résistance générale, sauf pour le flétrissement bactérien où les recherches s'orientent vers des résistances spécifiques (NOTTEGHEM et BAUDIN, 1981).

Le tableau I illustre de manière simplifiée les principaux acquis en matière de défense des cultures pour les productions végétales majeures du Sahel.

Les stratégies d'intervention pour l'avenir

A moyen terme, compte tenu des contraintes économiques qui pèsent sur les agricultures sahéliennes, le recours aux méthodes de protection chimique des cultures sera limité, éventuellement, à la conservation et protection des semences.

Tableau I. Principaux acquis disponibles ou orientations en matière de protection des cultures au Sahel.

Protection des semences *		Protection des plantes en végétation		
		Insectes	Maladies	Divers
Mil	<ul style="list-style-type: none">Désinfection chimique des semences : insecticide et fongicide	<ul style="list-style-type: none">Sauteriaux : sont disponibles des méthodes de lutte préventive et curative à différentes échellesForeurs des tiges : Impact sur les variétés tardives. Lutte par valorisation fourragère des paillesCécidomyies (chandelles)Mineuses (épis) : résistance variétaleMéiotodes : résistance variétale	<ul style="list-style-type: none">Ergot, mildiou, charbon : niveaux de résistance variée appréciables dans les populations locales	
Sorgho	<ul style="list-style-type: none">Désinfection chimique des semences : insecticide et fongicideExistence de variétés moins sensibles aux moisissures	<ul style="list-style-type: none">Cécidomyie : pratiques culturalesMouche du pied : résistance variétale (en cours). Traitement insecticide systémique au semis	<ul style="list-style-type: none">Maladie des bandes de suie et maladie des tâches zonées : niveaux de résistance variée dans les populations locales. Sensibilité des variétés introduitesMaladie du charbon couvert : Traitement des semences	<ul style="list-style-type: none">Striga : variétés tolérantes et pratiques culturalesOiseaux : sur les sorghos conduits en contre-saison
Riz irrigué	<ul style="list-style-type: none">Importance de l'utilisation de fongicideL'insecticide peut être recommandé sur pépinières	<ul style="list-style-type: none">Foreurs des tiges : traitement chimique sur les pépinières (cœurs mous) ou en cours de cycle (panicules blanches)Défoliateurs : traitement chimique en pépinières ou pratique du repiquage.	<ul style="list-style-type: none">Pyriculanose : fixation de la résistance spécifique en cours.	<ul style="list-style-type: none">Oiseaux : surtout en contre-saison, dégâts importantsRats : lutte chimique
Nièbé	<ul style="list-style-type: none">Désinfection chimique des semences : insecticide et fongicide	<ul style="list-style-type: none">Protection chimique (coût élevé)Culture en associationPratiques culturales	<ul style="list-style-type: none">Protection chimique (coût élevé)Culture en association	<ul style="list-style-type: none">Protection post-récolte : chimique et ensachage ; stockage en fûts métalliques
Arachide	<ul style="list-style-type: none">Désinfection chimique des semences : fongicide et insecticide	<ul style="list-style-type: none">Utilisation d'appâts ulicides chimiques à la fructification sur les arachides de bouche	<ul style="list-style-type: none"><i>Aspergillus flavus</i> : pratiques culturales et sélection variétale en coursRosette : utilisation de variétés résistantesCercosporiose : pas de traitement chimique rentable. Pratiques culturalesRouille : sélection variétale en cours. Pratiques culturales	<ul style="list-style-type: none">Nématodes : traitement chimique. Des améliorations sont indispensables (coût, toxicité)

* Il est à noter que l'utilisation de produits systémiques contribue à la protection des plantes pendant une quinzaine de jours après germination pour les insecticides, et pendant environ un mois pour les fongicides, ce qui est tout à fait important en début de cycle au Sahel, pour assurer une densité de semis satisfaisante.

Contre les ravageurs des cultures, les méthodes à privilégier sont à rechercher dans la lutte biologique – surtout pour les insectes, oiseaux, rongeurs, etc. – et les résistances variétales – essentiellement contre les maladies, parfois contre certains insectes.

La mise au point de ces moyens de lutte nécessite des programmes de recherche longs, donc coûteux. Il convient, dans un premier temps, de définir les priorités de recherche par plante sur le plan agronomique et de resituer les problèmes phytosanitaires dans ce cadre. Par exemple, l'International pearl millet workshop de 1986 (ICRISAT, 1987) plaçait la lutte contre les insectes, et plus précisément contre les mineuses de l'épi et les foreurs des tiges et contre certaines maladies (mildiou, ergot, charbon), dans les actions prioritaires des programmes mil. Le striga était jugé d'une importance secondaire (non mentionnée) malgré la gravité des infestations dans certains contextes.

Des recherches de base indispensables doivent se poursuivre pour approfondir les connaissances sur les ennemis des cultures (biologie, mode d'action, leur pathogène, mécanismes de résistance des plantes, plantes hôtes, etc.) et définir ainsi les stratégies de lutte à développer à moyen terme. Des recherches en cours sont prometteuses.

- Mil :

- les résistances variétales contre le mildiou, l'ergot et le charbon (MBAYE, 1987) ;

- les progrès dans la biologie du striga et l'identification de quelques lignées tolérantes (RAMAIAH et WERDER, 1987) ;

- la recherche d'une moindre sensibilité variétale et la lutte biologique contre les mineuses de l'épi (*Raghuva*) et foreurs des tiges (*Acigona*).

- Riz (NOTTEGHEM et BAUDIN, 1981) :

- des efforts importants restent à faire pour identifier et fixer des gènes de résistance pour les principales maladies (pyricularioses, bactérioses et viroses) ;

- acquisition de connaissances sur les prédateurs d'*Orsealia oryzivora*, principal insecte ravageur du riz irrigué.

- Sorgho :

- mise au point d'une résistance variétale contre la cécidomyie ;

- caractérisation de l'importance économique des ravageurs et maladies.

- Arachide (R. SCHILLING) :

- enrobage industriel de semences décortiquées et fongicidées prêtes à l'emploi ;

- identification et bio-écologie des principales espèces d'îules ;

- méthodes de lutte chimique contre les nématodes en sols sableux, économiquement rentables.

- Niébé :

- identification des viroses importantes en termes économiques et recherche de résistances variétales ;

- identification et bio-écologie des principales espèces de ravageurs ;

- recherche de tolérances, résistances variétales ;

- identifier les possibilités en termes de lutte biologique ;

- diminuer le coût des traitements ;

- améliorer les recherches sur les cultures en association.

Bibliographie

- BETBEDER-MATIBET M., 1989. Insectes nuisibles aux cultures vivrières d'Afrique, de Madagascar et des Mascareignes. Montpellier, CIRAD-IRAT, 120 p.
- CHANTEREAU J., NICOU R., 1991. Le sorgho. Paris, Maisonneuve et Larose.
- FRISON E.A., 1988. Les viroses du niébé dans le Sahel. FAO Plant Prot. Bull., 36 (1) : 9-18.
- ICRISAT, 1987. Proceedings of the International pearl millet workshop, ICRISAT Center (India), 7-11 April 1986. Patancheru, ICRISAT, 350 p.
- LOUETTE D., LEROUX P., TRAORE B., 1984. Le niébé. Montpellier, CNEARC.
- MBAYE D.F., 1987. Recherches sur la résistance variétale du mil aux maladies au Sénégal. In : Proceedings of the International pearl millet workshop, ICRISAT Center (India), 7-11 April 1986. Patancheru, ICRISAT, p. 309.
- NDOYE M., GAHUKAR R., 1987. Les insectes ravageurs du mil en Afrique de l'Ouest et les moyens de lutte. In : Proceedings of the International pearl millet workshop, ICRISAT Center (India), 7-11 April 1986. Patancheru, ICRISAT, p. 183-194.
- NIANGADO O., OUENDEBA B., 1987. Amélioration variétale du mil en Afrique de l'Ouest. In : Proceedings of the International pearl millet workshop, ICRISAT Center (India), 7-11 April 1986. Patancheru, ICRISAT, p. 83-94.
- NOTTEGHEM J.L., BAUDIN P., 1981. Principales maladies du riz en Afrique de l'Ouest. Monrovia, ADRAO-FAO-IRAT.
- POISSON C., 1989. Amélioration variétale du riz en Afrique de l'Ouest. Montpellier, CIRAD-IRAT, 15 p.
- RAMAIAH K.V., WERDER J., 1986. Screening pearl millet for resistance to *Striga hermonthica* in West Africa. In : Proceedings of the International pearl millet workshop, ICRISAT Center (India), 7-11 April 1986. Patancheru, ICRISAT, p. 314.
- RECKHAUS P., 1987. Disease incidence on pearl millet in Niger during 1981-1985. In : Proceedings of the International pearl millet workshop, ICRISAT Center (India), 7-11 April 1986. Patancheru, ICRISAT, p. 309.
- SCHENNING J.E., 1980. Millet improvement in CILSS countries of West Africa. ICRISAT.
- THAKUR R.P., CHAHAL S.S., 1987. Problems and strategies in the control of ergot and smut in pearl millet. In : Proceedings of the International pearl millet workshop, ICRISAT Center (India), 7-11 April 1986. Patancheru, ICRISAT, p. 173-182.
- VERCAMBRE B., 1981. Les chenilles en chandelles, importants ravageurs du mil en zone sahélienne. Thèse de docteur-Ingénieur, université de Paris-XI, 186 p.
- WILLIAMS R.J., ANDREWS D.J., 1982. Breeding for disease and pest resistance in pearl millet. In : FAO expert consultation on breeding for durable resistance in Africa, IITA, Ibadan (Nigeria), 25-29 October 1982.

La technologie post-récolte des grains

**Jean-François Cruz
CIRAD-SAR
Jacques Faure
CIRAD-CA**

Table des matières

Les opérations de prétraitement de la récolte	241
Séchage et stockage	241
Battage	242
Nettoyage	243
Les opérations de première transformation	243
Mil et sorgho	243
Maïs	245
Riz	246
Dynamiser les technologies intermédiaires	248
Bibliographie	249

La mécanisation post-récolte des grains concerne l'ensemble des opérations que subissent les produits depuis leur récolte jusqu'à leur première transformation. En zone sahélienne, où les céréales et les légumineuses restent la base de l'alimentation humaine, la majeure partie de la production est stockée et transformée dans les villages et destinée à l'autoconsommation. Sur ce plan, les techniques n'ont guère évolué et, dans bien des cas, le système post-récolte est resté de type traditionnel : récolte manuelle, séchage au soleil et stockage en épis dans des greniers traditionnels puis, en fonction des besoins journaliers des familles, opérations quasi quotidiennes d'égrenage, vannage, décorticage et mouture au pilon-mortier. Diverses actions initiées dans le passé, et poursuivies à l'heure actuelle, doivent être développées pour améliorer et moderniser un système qui apparaît aujourd'hui, à bien des égards, anachronique. Ce secteur d'activité a malheureusement été longtemps négligé par les décideurs et les chercheurs alors qu'il participe pleinement à l'effort de sécurité et d'autosuffisance alimentaires.

Les opérations de prétraitement de la récolte

Séchage et stockage

Dans les zones sèches comme dans les zones sahéliennes, les conditions climatiques sont favorables au stockage des grains, du moins en ce qui concerne le facteur essentiel de conservation qu'est l'humidité. La présence d'une longue saison sèche caractérisée par un faible degré hygrométrique de l'air permet le séchage naturel des produits sur pied au champ ou en épis sur des aires de séchage. Le faible taux d'humidité atteint par les grains dans ces conditions ($< 13\%$) est propice à leur bonne conservation mais peut parfois altérer leur qualité technologique. C'est le cas notamment des riz très secs de ces régions qui, fragilisés, se brisent lors des opérations de transformation, entraînant des rendements d'usinage médiocres. Des problèmes de séchage des récoltes, pratiquement inexistantes jusqu'à aujourd'hui, commencent à apparaître avec le développement des cultures de riz de contre-saison (moisson en saison humide).

En matière de stockage, les structures traditionnelles en terre (banco) sont généralement bien adaptées au stockage des produits récoltés secs. Le niveau des pertes pondérales durant l'entreposage est souvent inférieur à 5 %, notamment pour ce qui concerne les céréales traditionnelles (mil et sorgho) conservées en épis. D'autres produits comme le niébé sont beaucoup plus vulnérables et les taux de pertes peuvent alors dépasser 50 %. Dans ces régions, les risques de dégradation des stocks proviennent quasi exclusivement des insectes et des rongeurs.

Dans le passé, les nombreuses tentatives d'introduction de nouvelles structures de stockage villageois (silo Carrera, silo métallique, silo Pusa, fût, sacs plastiques...) qui ont été faites ont rarement été couronnées de succès : difficulté de mise en œuvre par les villageois eux-mêmes ; investissements trop importants en comparaison du faible niveau des pertes. Les mesures d'amélioration du stockage les plus immédiatement efficaces se révélant être l'entretien des structures traditionnelles, l'observation de sérieuses règles d'hygiène préventive et l'utilisation d'insecticide à longue persistance d'action. En outre, seules les structures métalliques "étanches" semblent pouvoir apporter une solution satisfaisante à la lutte contre les insectes et les rongeurs. Des travaux réalisés par le CEEMAT sur le stockage de riz en cellule métallique ont montré une bonne conservation des grains après un

an de stockage, avec seulement 1,5 % du produit altéré par des phénomènes de condensation, lesquels peuvent être assez aisément évités par de simples améliorations de la structure.

En effet, l'évolution de l'agriculture vers une intensification des productions, en relation avec les besoins en approvisionnements importants des villes qui dans ces régions connaissent souvent une expansion rapide, rend aujourd'hui l'équilibre des systèmes post-récolte traditionnels précaire :

- l'introduction de nouvelles variétés plus productives conduit à gérer des quantités plus importantes de grains souvent moins aptes au stockage (moindre résistance aux différents déprédateurs) que les grains de variétés traditionnelles ;
- le développement des cultures de contre-saison et l'utilisation de techniques nouvelles comme l'irrigation peuvent conduire à avancer la période de récolte en saison pluvieuse et donc à moissonner des grains plus humides à une époque où les conditions climatiques sont défavorables au stockage ;
- le développement de la mécanisation pour les opérations de récolte et de battage oblige également à gérer des quantités de produit plus importantes, en grains, généralement plus humides et plus sales, et donc non stockables en l'état.

Dans les zones où l'on doit faire face à ces nouvelles contraintes, il s'avère souvent nécessaire de modifier les systèmes existants, soit les structures de stockage elles-mêmes, soit les techniques utilisées, soit encore les pratiques de stockage (développement des coopératives par exemple).

Battage

Le battage, qui consiste à séparer les grains de l'épi, reste encore très souvent une opération manuelle : égrenage du mil et du sorgho effectué traditionnellement par les femmes au pilon-mortier, battage par percussion ou au bâton des gerbes de paddy. La mécanisation du battage s'est cependant développée au cours des dernières années et l'on dispose aujourd'hui de machines relativement performantes, même si elles ne sont pas toujours adaptées aux besoins des agriculteurs.

□ Riz

La mécanisation du battage du riz a été étudiée dès les premières expériences d'aménagements rizicoles (Office du Niger, SAED...). Les opérations de développement se sont alors équipées de batteuses et ont joué un rôle de prestataire de services auprès des producteurs. Les matériels les plus utilisés (Dorga, Avanblanch, FAO, Vicon, Girard...) ont des débits qui varient entre 500 kg/heure et 1 000 kg/heure, ce qui les rend peu adaptés à l'exploitation familiale. Hormis la Votex, il n'existe pas de batteuse de dimensions modestes répondant aux besoins des paysans.

Concernant la moisson, le CEEMAT a conçu et réalisé récemment un matériel simple et très maniable destiné aux producteurs travaillant des parcelles de petites ou moyennes dimensions. Il s'agit d'une égreneuse sur pied ou "stripper" permettant la récolte d'environ un hectare de culture par jour.

□ Maïs

Les technologies d'égrenage-battage du maïs existent tant au niveau de l'exploitation individuelle qu'en technologie intermédiaire ou agro-industrielle. L'égreneuse "bamba", d'un débit de 500 kg à 1 000 kg/heure, connaît un succès important auprès des communautés villageoises.

□ Mil et sorgho

Alors que le battage du sorgho ne pose pas de problèmes particuliers, le battage du mil est nettement plus difficile du fait de la compacité de l'épi, constitué d'une chandelle d'épillets très serrés. Les premières études réalisées par l'IRAT au CNRA de Bambey (Sénégal) par TOURTE et PLESSARD ont conduit à la réalisation d'une batteuse à mil commercialisée par la Siscoma (la B5 1000) et Marot (DAK II). Le "format" de la machine, qui permet de traiter 1 000 kg/heure, apparaît surdimensionné par rapport aux besoins réels des agriculteurs. Le battage du mil et du sorgho nécessite donc un réel effort de mise au point de matériels adaptés à la taille des exploitations paysannes.

Nettoyage

Dans la filière traditionnelle, les opérations de battage-égrenage sont toujours suivies du vannage, qui permet de séparer le bon grain des divers déchets ou impuretés légères (pailles, rachis...). En technologie industrielle, les matériels classiquement utilisés tels que les nettoyeurs-séparateurs conviennent parfaitement. Dans les exploitations, il existe un besoin de mise au point de nettoyeurs simples et robustes, afin d'améliorer les conditions de stockage, de commercialisation ou de transformation des produits.

Les opérations de première transformation

Ces opérations concernent le décortilage et la mouture des céréales telles que mil, sorgho et maïs, et l'usinage pour le riz.

Mil et sorgho

Le pilon-mortier reste couramment utilisé pour la première transformation des mil et sorgho au plan domestique. Dans la filière traditionnelle, il est de pratique courante de réhumidifier les grains pour faciliter le décortilage, ce qui conduit à l'obtention d'une farine humide se conservant mal. Ces opérations manuelles longues et fastidieuses, réalisées quotidiennement par les femmes, sont de plus en plus inadaptées à la vie dans les villes et les campagnes, et l'on a depuis longtemps cherché à les mécaniser.

■ Mouture

La mouture, opération la plus pénible, a été mécanisée en priorité et ne constitue plus un goulet d'étranglement dans le système post-récolte. Il existe aujourd'hui une large gamme de moulins polyvalents (à meules ou à marteaux) aptes à répondre aux besoins des communautés villageoises ou de l'artisanat de service. L'attention doit donc davantage porter sur l'étude de l'environnement technique (maintenance, formation...) et socio-économique (dispersion des populations, gestion...) pour l'implantation d'unités artisanales.

■ Décorticage artisanal

Le décorticage constitue le principal frein au développement d'une filière artisanale de transformation. Le décorticage par voie humide en utilisant du matériel de type "Engelberg" (décortiqueur à riz) ne donne pas satisfaction car, à l'image du procédé traditionnel, il conduit nécessairement à la production d'une mouture humide de conservation difficile. La recherche doit au contraire encourager le développement de la voie sèche. A l'heure actuelle, il n'existe pratiquement sur le marché qu'une seule machine : le mini-PRL conçu par le CRDI (Canada) en collaboration avec certains centres de recherche africains. Le principal défaut de ce matériel, aujourd'hui commercialisé par la Sismar (Sénégal), est son fonctionnement discontinu qui le rend paradoxalement mal adapté aux quantités variables des lots à traiter. Le CEEMAT travaille actuellement, en collaboration avec la recherche agronomique sénégalaise, à la mise au point d'une unité de décorticage-mouture en continu, destinée à couvrir les besoins des petites communautés urbaines ou rurales (quelques dizaines de kg/h). Une première unité testée à la Division du machinisme agricole (DMA) au Mali a donné des résultats techniques intéressants.

■ Décorticage industriel

Dans l'état actuel des politiques céréalières, la voie industrielle, qui est technologiquement au point, ne paraît pouvoir être exploitable que dans des conditions particulières :

- au Nigeria, en raison de l'interdiction officielle des importations de blé ;
- au Nord-Cameroun, où blé et farine arrivent de Douala à des prix plus élevés que le sorgho produit localement ;
- au Sénégal, où la quantité de mil commercialisée sous diverses formes de farines et préparations est importante à Dakar.

Mil et sorgho sont des céréales essentiellement autoconsommées et leur marché est fortement concurrencé par les céréales importées (blé et riz). Les opérations de commercialisation-transformation sont nombreuses et complexes. Une utilisation industrielle nécessite l'organisation et la concentration de la production de lots homogènes de variétés aptes à cette transformation.

Il existe deux installations de décorticage et mouture industrielle du mil pour la fabrication de sankhal (grosse semoule), sunguf (farine) et couscous à Dakar. La commercialisation se heurte aux bas prix du riz. Une installation existe à Banfora, au Burkina Faso, pour la transformation du sorgho en farine et semoule, une autre au Nord-Nigeria, également pour le sorgho.

En escomptant qu'un jour viendra où la politique économique régionale, dans un contexte international approprié, sera plus favorable aux céréales et à leur transformation, la recherche doit poursuivre ses travaux dans les deux directions suivantes :

- amélioration de la qualité des produits de mouture obtenus industriellement ;
- comparaison des aptitudes technologiques entre les variétés nouvellement introduites et les variétés traditionnelles.

Le décorticage a une influence importante sur la pureté des farines et semoules mais aussi sur la consistance et la couleur des produits de deuxième transformation : couscous et bouillie (tô). Or ces caractéristiques influencent directement le choix des utilisateurs et consommateurs. Par exemple, plus un grain est décortiqué, plus ferme et meilleur sera le tô. Il en résulte que le rendement au décorticage devra être faible. Pour améliorer ce rendement, l'industrie recherchera des variétés semi-vitreuses, dont les teneurs en cendres, lipides et protéines diminuent rapidement dès le début du décorticage. De même, il a été mis en évidence une relation entre la dureté des grains (méthode basée sur un indice de taille de particules des

produits de mouture), l'aptitude au décortiquage des sorghos et certaines caractéristiques chimiques, en particulier les kafirines (protéines de réserve solubles dans l'alcool). Une conséquence directe importante est la mise au point de tests pour les sélectionneurs.

La recherche-développement doit persévérer dans la mise au point de matériel de petite capacité commerciale, 100 kg à 1 t/heure, tant pour le décortiquage que pour la mécanisation de certaines opérations fastidieuses dans les préparations culinaires traditionnelles : malaxage, roulage des couscous de mil et sorgho, tamisage des produits de mouture en fonction des granulométries désirées pour les diverses utilisations culinaires, simplification des procédures de cuisson à la vapeur et développement de foyers améliorés.

Maïs

■ Broyage-mouture

Au broyage traditionnel au pilon, le maïs est trempé au préalable et lavé après les premiers concassages pour faciliter la séparation entre enveloppes, grains et amande.

Au broyage au moulin à marteaux (broyage à sec), le grain est simplement humidifié quelques instants au préalable. La séparation des enveloppes et germes, si elle est souhaitée, se fera par vannage.

La recherche devrait s'orienter vers des petites installations de travail à façon ou pour petits entrepreneurs. Le grain y serait nettoyé, humidifié, broyé et tamisé par trois appareils distincts, entraînés mécaniquement afin d'enlever sur demande une proportion d'enveloppe plus ou moins importante. Une diffusion et maintenance de ces petites installations dans les villages producteurs de maïs et à proximité des zones urbaines est une priorité pour développer la commercialisation du maïs et de ses produits de mouture aux différentes granulométries souhaitées par le consommateur : farine, semoule et griz.

La mouture du maïs ne pose pas de problème au plan industriel et permet évidemment d'obtenir des produits plus purs, à faible teneur en lipides, utilisables éventuellement en brasserie industrielle.

De telles installations existent au Sénégal, au Burkina Faso, au Nord-Cameroun, au Nord-Nigeria.

■ Aptitudes technologiques et culinaires

Le comportement du maïs à la mouture et la qualité des produits broyés obtenus dépendent des matériels employés mais varient également beaucoup selon les variétés. La majorité des variétés africaines de maïs sont appréciées parce qu'elles sont semi-vitreuses, semi-farineuses, permettant d'obtenir tout à la fois de la semoule et de la farine. La recherche a montré qu'il est possible de prévoir le rendement en semoule par la teneur en matières minérales des grains et le pourcentage de grains dentés ou leur sphéricité, alors que la vitrosité n'est pas un paramètre significatif. Ces indications sont importantes quand on sait l'attention que portent les utilisateurs-consommateurs de maïs à la granulométrie des produits de mouture en fonction de leur destination : couscous, bouillies, beignets, pâtes.

Comme pour le sorgho, la recherche doit caractériser les variétés de maïs de la zone à partir des propriétés physico-chimiques des grains et de leur comportement à la mouture ; elle doit donner la priorité à l'étude de leurs corrélations afin de mettre au point des tests technologiques pour les sélectionneurs. Ceux-ci, en

effet, orientent de préférence leurs travaux vers l'accroissement des rendements, la résistance au stress hydrique et aux maladies, sans prendre en compte les utilisations finales.

La diversité des préparations, en s'inspirant de celles qui existent hors de la zone, par exemple au Mexique, en zone soudanienne ou d'autres régions dont l'alimentation de base est le maïs (Togo, Bénin), mérite l'attention de la recherche.

L'utilisation des farines de maïs en mélange avec du blé pour certaines fabrications de produits de type européen comme le pain, les pâtes alimentaires a fait l'objet d'importants travaux de recherche. Ils ont montré la faisabilité technique d'une incorporation à des taux plus ou moins importants, sans aboutir à des succès commerciaux en fabrication industrielle. Cette recherche n'est probablement plus prioritaire, tant que le prix des céréales importées restera plus attractif. Une ou deux exceptions sont à noter, comme le Nigeria (interdiction des importations de blé) et le Nord-Cameroun (prix du maïs local moins élevé que le blé et la farine en provenance de Douala).

Riz

A la récolte, le riz est une céréale vêtue (entourée de ses glumes) appelée paddy. La transformation du riz comprend deux opérations successives : d'une part le décortiquage qui permet de transformer le paddy en riz brun (ou riz cargo) par élimination des glumes (ou balles), puis le blanchiment qui par usure du péricarpe et du germe permet d'obtenir le riz blanc. Lorsque la transformation est mécanisée, l'ensemble de ces deux opérations est appelé usinage.

■ Technologie Intermédiaire

En technologie traditionnelle, la transformation est essentiellement un décortiquage car le blanchiment est peu poussé et le grain consommé est pratiquement un riz complet riche en protéines et en vitamines.

En Afrique sahélienne, le pilonnage manuel est souvent remplacé par un usinage mécanique réalisé à façon par des artisans. Les matériels classiquement utilisés à ce stade sont les décortiqueurs "Engelberg" installés dans les villages, qui réalisent en une seule opération le décortiquage et le blanchiment du riz. Simple dans son principe, cette machine a l'avantage d'être rustique et réalisable par des entreprises locales. Elle a cependant de nombreux inconvénients :

- faible rendement d'usinage souvent inférieur à 60 % alors que l'optimum est de 70 % ;
- taux de brisures élevé du fait d'une action brutale sur le riz, ce qui rend difficile la valorisation du produit en zone urbaine où les consommateurs sont plus exigeants sur la qualité ;
- mélange et donc dépréciation des sous-produits du fait de la pollution des sons par les "balles" (riches en silice).

Pour répondre aux besoins créés par le développement de la technologie intermédiaire, le CEEMAT a mis au point une ligne complète d'usinage du riz à l'échelle semi-industrielle (500 kg/heure). L'objectif est de fournir un produit de qualité commercialisable sur les marchés urbains, tout en maintenant la valeur ajoutée et les sous-produits de la transformation dans les zones de production. L'ensemble est composé de modules indépendants pouvant être acquis séparément et progressivement : nettoyeur, séchoir, décortiqueur blanchisseur, trieur... Le décortiqueur-

blanchisseur, élément de base de l'unité, est à rouleaux caoutchouc avec un système de blanchiment par abrasion, ce qui présente les avantages suivants : rendement d'usinage global élevé, taux de brisures réduit, possibilité de valoriser les sons en alimentation animale et les "balles" en énergie. L'effort doit maintenant porter sur l'adaptation de l'unité à diverses conditions d'utilisation (contraintes techniques et socio-économiques).

■ Usinage industriel

La technologie industrielle d'usinage du riz est aujourd'hui bien maîtrisée du point de vue technique. Le riz est usiné dans une succession d'appareils réalisant chacun une opération unitaire. Les diagrammes d'usinage sont au point et les performances techniques théoriquement satisfaisantes. Le développement des rizeries industrielles se heurte cependant à de nombreuses difficultés :

- investissements élevés en équipements de stockage et d'usinage ;
- frais élevés et longs délais pour l'organisation de la collecte dans un vaste rayon : capacité de production souvent sous-utilisée ;
- charges fixes élevées et difficultés de gestion.

Il semble aujourd'hui préférable de décentraliser la transformation du riz sur les zones mêmes de production en développant des réseaux de mini-rizeries.

■ Etuvage

L'étuvage n'est pas une technique couramment employée dans la zone, mais elle est pratiquée par certaines ethnies en Côte-d'Ivoire et au Mali, par exemple. Elle consiste en un prétrempage à chaud du paddy, suivi d'une cuisson à la vapeur puis d'un séchage avant décortiquage.

Modifiant le goût et parfois la couleur du riz qui devient plus ambré, le procédé a aussi l'avantage d'augmenter le rendement au décortiquage et de fournir plus de grains entiers.

Le matériel employé pour l'étuvage traditionnel consiste en des marmites, bidons, ustensiles de cuisine ; le chauffage est au bois. Une fabrication locale de matériel pourrait être envisagée dans les régions où se pratique l'étuvage : foyers améliorés et éventuellement réceptacles de cuisson à la vapeur.

■ Aptitudes technologiques et culinaires

Riziers et consommateurs africains recherchent généralement des riz à faible taux de brisures. Le Sénégal est une exception importante à signaler car les habitudes alimentaires traditionnelles donnent la préférence aux brisures de riz.

Le taux de brisures dépend à la fois de la variété, des conditions de séchage, des matériels d'usinage et de leur réglage en rizerie. La tendance au Sahel est de laisser le paddy au champ sécher trop longtemps, ce qui entraîne un taux de brisures élevé à l'usinage. Là où la demande des consommateurs le justifie, il faudrait envisager de payer le producteur selon la qualité.

La préférence du consommateur pour les variétés traditionnelles de riz est connue : il a plus de goût, est plus ferme et moins collant. Certaines variétés nouvelles comme IRAT 216 rencontrent un grand succès en Côte-d'Ivoire. Pourtant sa teneur en amylose de 9 % seulement est le signe d'une moindre fermeté que les variétés habituelles en Afrique.

La recherche pourrait analyser plus systématiquement les riz de la zone pour déterminer l'acceptabilité des variétés nouvelles en comparaison aux traditionnelles.

Dynamiser les technologies intermédiaires

L'augmentation des niveaux de production, rendue nécessaire par la demande croissante de sécurité alimentaire, conduit à des modifications importantes des systèmes post-récolte traditionnels. Les techniques ancestrales de conservation, souvent efficaces dans le cas d'une agriculture d'autosubsistance, ne permettent pas au paysan de gérer correctement les excédents alors produits. Pour diminuer le niveau des pertes après-récolte, il est fondamental d'associer à tout projet d'intensification un volet spécial concernant la conservation des denrées stockées.

En termes de recherche, l'activité stockage doit être redynamisée et les efforts doivent porter tant sur l'amélioration des pratiques de stockage (passage au vrac, utilisation d'insecticides chimiques ou naturels...) que sur la mise au point de structures de stockage efficaces (cellules métalliques "étanches" pour le grain tout-venant par exemple, ou encore sacs plastiques étanches, sous vide ou gaz inerte, pour les semences...) ou encore sur l'estimation correcte des niveaux de pertes.

Les conditions de stockage étant par ailleurs nettement améliorées lorsque le grain est sec et propre, il apparaît naturellement indispensable de favoriser la construction locale et la diffusion des batteuses et des nettoyeurs-séparateurs de petite capacité, aujourd'hui techniquement au point. Dans le domaine de la première transformation, il faut poursuivre les études comparatives sur les matériels de décorticage et mouture en prenant en compte la qualité des produits de mouture et leur utilisation finale : une farine ne doit pas avoir les mêmes caractéristiques pour tous les plats traditionnels ni pour toutes les utilisations industrielles.

Pour les céréales traditionnelles (mil, sorgho) et le maïs, le décorticage par abrasion type PRL a montré son efficacité et sa relative polyvalence. On verra certainement apparaître des modèles améliorés basés sur le même principe mais plus compétitifs grâce à une meilleure résistance à l'usure des pièces abrasives, une réduction de la puissance employée, une conception simplifiée permettant une fabrication locale, une facilité de nettoyage des appareils et des produits. Pour le riz, le développement de petites unités d'usinage de niveau artisanal ou semi-industriel récemment mises au point par la recherche reste à promouvoir.

La dernière décennie a permis de progresser dans la connaissance des caractéristiques physico-chimiques des grains liées à leur aptitude au décorticage, à la mouture et aux différentes préparations culinaires. Une information précieuse pour les sélectionneurs a été ainsi acquise et devrait être complétée dans les années à venir. Un constat et une prévision plus pessimistes concernent l'implantation de minoteries industrielles de mil, sorgho ou maïs pour l'alimentation humaine. Leur développement est totalement tributaire des prix pratiqués sur les céréales importées.

Bibliographie

- ALUKA K., MICHE J.C., FAURE J., 1985. Conditions d'une fabrication mécanique de couscous de maïs en Afrique de l'Ouest. IAA, 5 : 457-461
- BRICAS N., 1982. Innovation et adaptation de technologies pour l'industrialisation des pays africains. Le cas de la transformation du maïs, du mil et du sorgho. Massy, ENSIA-ALTERSIAL, 166 p.
- CRUZ J.F., ALLAL M., 1986. Le stockage du grain. Genève, BIT, 121 p. (Dossier technique n° 11, série Technologie).
- CRUZ J.F., BERGERET A., TROUDE F., 1989. Etude d'une ligne semi-industrielle d'usinage du riz. *In* : Céréales en régions chaudes. Colloque international de technologie, Ngaoundéré (Cameroun), 22-26 février 1988. Paris, John Libbey-Eurotext, p. 231-240
- CRUZ J.F., TROUDE F., GRIFFON D., HEBERT J.P., 1988. Conservation des grains en régions chaudes. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement, 545 p. (coll. Techniques rurales en Afrique).
- DELANNOY J., 1977. Les équipements pour traiter les produits après la récolte. *Machinisme Agric. Trop.*, 60 : 3-60.
- FLIEDEL G., GRENET C., GONTARD N., PONS B., 1989. Dureté, caractéristiques physico-chimiques et aptitude au décorticage des grains de sorgho. *In* : Céréales en régions chaudes. Colloque International de technologie, Ngaoundéré (Cameroun), 22-26 février 1988. Paris, John Libbey-Eurotext, p. 187-201
- FRANCOIS M., 1988. Du grain à la farine. Paris, Ministère de la Coopération, GRET, 279 p. (coll. Le point sur les technologies).
- MBENGUE H.M., HAVARD M., 1986. La technologie post-récolte du mil au Sénégal. *Machinisme Agric. Trop.*, 93 : 21-45.
- SAUTIER D., O'DEYE M., BRICAS N., FAURE J., O'DEYE M., MUCHNIK J., 1989. Mil, maïs, sorgho. Techniques et alimentation au Sahel. Paris, L'Harmattan, 171 p.
- TOURTE R., 1981. Des céréales à l'écart des technologies intermédiaires de post-récolte : le mil et le sorgho. *Machinisme Agric. Trop.*, 75 : 46-53.

L'amélioration des systèmes de production

**Guy Pochtier
CIRAD-SAR**

Table des matières

Les mesures de soutien	255
Les initiatives paysannes	256
Systèmes de culture	256
Systèmes d'élevage	257
Le dynamisme des exploitations agricoles	258
Valorisation de la production primaire	258
Recours à l'emprunt	259
Commerce et artisanat	259
Migration	260
Les stratégies paysannes	260
L'avenir de l'agriculture	261
Réhabilitation du milieu naturel	261
Economie de l'eau	262
Systèmes de culture : variétés et fertilisation	262
Culture attelée	263
Systèmes d'élevage	264
Un plan de type "Marshall" pour l'Afrique ?	264
Bibliographie	266

Dès l'indépendance, les Etats francophones de l'Afrique de l'Ouest ont manifesté leur volonté politique de baser leur développement économique et social sur l'agriculture, en mettant l'accent sur les cultures vivrières afin de résorber le déficit et sur la diversification.

A cet effet, les services de vulgarisation et d'approvisionnement en intrants du monde rural furent renforcés.

La période de sécheresse, qui a débuté en 1968, la conjoncture économique défavorable aux termes de l'échange, après l'euphorie de l'envolée du prix des produits d'exportation, en 1974-75, et le gonflement rapide et imprudent des dépenses publiques de certains Etats qui s'ensuivit dans les années 1970-1979 ont eu pour conséquence la mise en œuvre d'un programme d'urgence de stabilisation à court terme, depuis 1984-85, et l'application d'un programme d'ajustement à moyen et long terme pour asseoir les bases d'une croissance durable.

Nous nous trouvons donc, présentement, dans une phase d'austérité budgétaire (vérité des prix) et de désengagement des Etats vis-à-vis des ruraux alors que leur revenu monétaire a diminué d'une façon dramatique depuis 1960 (en francs constants 1970, il a été divisé par 2,5 entre 1960 et 1990, dans le bassin arachidier) et qu'au Sahel la production vivrière ne suit qu'avec un certain décalage l'accroissement des besoins des ruraux, tout en pouvant être néanmoins excédentaire les années fastes.

Il convient de récapituler brièvement les mesures prises par les Etats, au cours des trois dernières décennies, dans le but d'améliorer l'environnement des exploitations agricoles et de stimuler la production, puis d'évoquer les faits les plus significatifs quant à l'adaptation par les agriculteurs des systèmes de production à un contexte hostile, et les perspectives d'évolution à travers les acquis de la recherche.

Les mesures de soutien

L'hydraulique rurale (fonçage et équipement de forages, de puits-forages ou de puits) a été l'une des actions les plus déterminantes pour l'amélioration des conditions de vie des populations rurales ; la contrainte "eau alimentaire" est cruciale tant pour les personnes que pour les animaux, elle constitue un handicap majeur du fait soit de l'éloignement, soit de la profondeur (50 à 100 m) et/ou du débit ($< 1 \text{ m}^3/\text{heure}$) du point d'eau.

Les aménagements hydro-agricoles, en dépit d'une sous-utilisation (une seule récolte par an au lieu de deux) et d'une réhabilitation onéreuse et prématurée (tous les 4 à 5 ans pour les grands périmètres), ont été une solution radicale contre les risques climatiques et ont représenté la condition sine qua non du maintien des villages et des troupeaux dans ces zones. Les progrès enregistrés en matière de riziculture chez les agriculteurs et les agro-éleveurs sont appréciables.

La décentralisation des infrastructures de base est considérée de plus en plus comme indispensable (en dehors des installations hydrauliques déjà citées) : centre de commercialisation et de stockage des produits agricoles, dispensaire, école, centre d'approvisionnement en intrants (engrais, semences, matériel, etc.) ainsi que la construction de routes et de pistes.

La structuration du monde rural s'est faite d'abord en coopérative, le plus souvent, puis en association de base de producteurs à l'intérieur d'une collectivité territoriale, parfois appelée le village-centre, où siège un conseil rural.

Des crédits ont été octroyés à travers un système bancaire classique puis, plus récemment, par une banque agricole (tests en cours), le crédit étant lié ou non à la commercialisation.

Des modalités de cession des intrants avec subvention dégressive en principe, durant des phases de sensibilisation de longueur variable, et des services spécialisés pour leur distribution ont été mis en place, ainsi que des actions de formation complémentaire pour les forgerons et un appui pour leur approvisionnement en matières premières.

Des campagnes annuelles de vaccination pour les principales épizooties des bovins (peste, charbon) et des actions sanitaires rapprochées pour les bovins de trait sont menées.

Les initiatives paysannes

Les agriculteurs ont fait preuve d'initiative et d'un courage exemplaire pour faire face à un environnement hostile.

Systèmes de culture

Les agriculteurs ont remplacé en quelques années les variétés devenues inaptes du fait du raccourcissement de la saison des pluies et/ou de l'extension du parasitisme (foreurs des tiges, striga) pour les principales espèces (mil, niébé, arachide, sorgho) et ils ont abandonné le manioc ; à l'inverse, ils ont réintroduit des cultures d'arachide à cycle plus long dès le retour d'hivernages meilleurs. Ils ont délaissé la culture associée mil-niébé relais dans la zone à moins de 500 mm de pluie et ils ont semé le niébé dans l'arachide.

S'agissant de la préparation du sol avant semis dans la partie méridionale, suite à l'arrivée tardive des pluies et aux années sèches, ils l'ont supprimée ; avec la réapparition d'hivernages précoces, ils l'ont remise en vigueur.

Le travail dénommé "baligue", effectué avec la houe occidentale sur arachide après semis, dans le sud du bassin arachidier, paraît intéressant car il réalise par micro-buttage un mulch au-dessus de la ligne de semis, préservant l'humidité et diminuant l'effet de battance, donc favorisant la sortie de la plantule. Il est constaté une meilleure maîtrise des adventices, le modelé ainsi créé persistant durant un mois environ (RUELLE *et al.*, 1990).

La mise en culture des bas-fonds, terroir bénéficiant du ruissellement et de la sédimentation des éléments fins, a pris de l'ampleur à partir de 1970, l'objectif visé étant de consolider la sécurité vivrière (sorgho, maïs) et de diversifier les productions : maraîchage d'hivernage et/ou de saison sèche froide ; tomate cerise, gombo, diakhatou, piment, manioc, patate douce et, s'il y a maîtrise foncière, des arbres fruitiers (manguiers, goyaviers, etc.).

Dans les vallées alluviales, le long des axes fluviaux, les paysans ont intégré les casiers irrigués dans leur stratégie visant à minimiser les risques climatiques, à optimiser leur calendrier cultural et à réduire les intrants, d'où la coexistence de trois systèmes de culture très distincts : la culture pluviale, la culture de décrue et la culture en casier.

Dans des zones comme le delta du fleuve Sénégal, des périmètres (10 à 50 ha) sommairement aménagés par les agriculteurs sans le concours de la SAED jouxtent les grands périmètres aménagés par l'Etat ; ils répondent à la fois à une demande de terres rizicultivables, à une appropriation individuelle des réserves foncières des communautés rurales, à un souci de se libérer des contraintes des grands périmètres irrigués (pompage, entretien des canaux) et d'obtenir une meilleure rémunération de leur travail par abaissement des charges.

La culture attelée a été perçue par les cultivateurs d'abord comme un moyen de cultiver plus de terre et plus rapidement (extensification), d'où une productivité du travail plus élevée qu'en manuel, et ensuite comme un moyen d'intensification pour augmenter les rendements à l'unité de surface ; le degré de mécanisation étant limité à certains travaux et les dépendants voulant avoir accès à la culture attelée, une réorganisation du travail s'est opérée naturellement au sein des exploitations, à l'avantage de tous.

En zone sahélo-soudanienne, la traction bovine a connu une diffusion à partir de 1970 (elle avait été précédée par une phase de sensibilisation dès les années 50), accompagnée d'une progression parallèle de la traction équine. Les agriculteurs ont bien accepté le message de la recherche et de la vulgarisation relatif à la traction bovine, et ils sont allés au-delà en combinant, quand ils en avaient les moyens, les deux types de traction (bovine et équine), qui sont complémentaires ; la première plus adaptée à des travaux exigeant une puissance de traction supérieure à 30 kgF (préparation aux dents, buttage, soulèvement de l'arachide, etc.), la seconde convenant mieux pour la réalisation rapide du semis et du premier sarclage ainsi que pour les transports.

A Thyssé, en 1977, 61 % des exploitations étaient en traction bovine, dont 26 % en traction mixte ; 24 % étaient en traction équine pure.

Il est à souligner la préférence des paysans pour les chaînes de matériel à éléments séparés, plus commodes d'emploi (bien que nécessitant plus de main-d'œuvre) que les appareils du type polyculteur, plusieurs travaux pouvant être effectués simultanément par différents attelages, d'où une plus grande souplesse pour l'exploitation.

La réforme prématurée des bœufs de trait, à l'issue de 3 à 4 campagnes agricoles, au Siné-Saloum, a optimisé la valorisation bouchère de ces animaux et cela s'est révélé être un bon choix économique, le prix de vente de la paire de bœufs étant pour moitié réinvesti dans l'achat de jeunes taurillons (1 à 24 mois), et pour moitié destiné aux dépenses des ménages ; la faculté de pouvoir vendre au moment où l'exploitation agricole avait un besoin monétaire important (soudure, événement familial) a été un argument décisif en faveur du développement de la traction bovine dans cette zone.

Les agriculteurs ont eu recours aux zébus pour deux raisons majeures : les troupeaux locaux de métis zébus Ndama ne pouvaient satisfaire la demande en bœufs de trait ayant la conformation et le comportement désirables, d'une part, et le gabarit des zébus supérieur à celui des Ndama était préféré tant pour la force de travail que pour la valeur bouchère à la réforme, d'autre part.

Il ne faudrait pas pour autant passer sous silence la place de la traction asine qui a joué (et joue) un rôle éminent en étant soit une alternative pour les dépendants familiaux et les petites exploitations dans l'accès à la culture attelée légère, soit une étape avant l'accès à la traction équine et/ou bovine ; elle a été à la base du développement du transport en de nombreux endroits. La rusticité de l'âne est assez exceptionnelle.

Systèmes d'élevage

Les experts sont unanimes pour reconnaître le poids économique de l'élevage dans la zone agricole (en moyenne : 1 UBT/5 ha, la fourchette étant de 0,5 à 3,5). Cette activité a pris de l'ampleur, la proportion de bovins s'étant accrue rapidement dans le Sahel centre-sud du fait de la capitalisation d'une partie des revenus agricoles et de la croissance des troupeaux, et l'élevage équin ayant fortement

progressé suite à la réduction de la pression de la trypanosomiase (sécheresse et défrichement conjugués) et à l'intérêt manifesté par les agriculteurs.

Les parcours et les jachères ayant régressé, on a assisté à une diminution, depuis 1980, de l'effectif bovin, en particulier dans le centre-nord, les ovins-caprins se maintenant (Sénégal) ou même augmentant (Niger) ; pour ces derniers, il faut souligner que les résultats économiques de leur productivité sont obérés par les contraintes alimentaires dans le nord et pathologique au sud, contraintes qu'il serait relativement aisé de lever, à un coût raisonnable.

La diversification de l'élevage a porté aussi sur la promotion de l'aviculture (poules, pintades, pour la viande et les œufs) et de la cuniculture, les élevages hors sol périurbains étant des concurrents sévères pour les producteurs de brousse dans l'accès aux sous-produits agro-alimentaires (minoteries, brasseries, farine de poisson, etc.) et aux centres de consommation.

La présence d'un cheptel de trait et de rente conséquent et les opérations d'embouche ont entraîné une meilleure collecte des sous-produits de récolte ainsi que du foin de jachère. Les années de disette, le volume des ressources fourragères est rarement en rapport avec les besoins en saison sèche, d'autant qu'une partie est commercialisée et que les feux de brousse sévissent d'une manière endémique.

Le dynamisme des exploitations agricoles

Les performances techniques des systèmes de production, bien qu'ayant été améliorées par des intrants nouveaux (culture attelée, variétés de cycle court, élevage plus ou moins intégré à l'agriculture) et par un savoir-faire ayant permis de s'adapter aux nouvelles conditions climatiques, demeurent insuffisantes face aux besoins vivriers et monétaires d'une population rurale croissante malgré l'exode ; de 1978 à 1990, sur le plan vivrier, on dénombre huit années déficitaires (déficit compris entre 25 et 60 % des besoins), trois années moyennes et deux années favorables, la séquence 1982-1985 ayant été la plus dure.

Comment les exploitations agricoles ont-elles pu surmonter ces épreuves. Quelles sont les perspectives d'amélioration des systèmes de production ?

Les enquêtes de terrain, relatives à l'analyse du fonctionnement des exploitations agricoles, font ressortir, en dehors des pratiques de culture extensive "minière" :

- la valorisation de la production primaire ;
- le recours à l'emprunt ;
- le commerce et l'artisanat ;
- la migration.

Valorisation de la production primaire

L'exemple de l'arachide au Sénégal est significatif ; la commercialisation officielle a connu des vicissitudes depuis 1975 directement liées au différentiel entre le prix intérieur (décision du gouvernement) et le cours mondial (suivi par la Gambie), qu'il s'agisse de l'arachide en coque ou de l'huile.

En effet, la partie de la production mise directement par les agriculteurs sur le marché intérieur et son degré de transformation (graine décortiquée, huile, savon, tourteau) sont fonction du rapport entre le prix officiel de l'arachide base coque et celui de l'huile. Au cas où les prix officiels sont inférieurs notablement à ceux du cours mondial, les frontaliers livrent en Gambie ; cela peut représenter plusieurs dizaines de milliers de tonnes par an.

Au Mali, durant la période où les agriculteurs étaient obligés par l'Etat de livrer un quota élevé de céréales à un prix qu'ils considéraient à juste titre comme trop faible, ils ont été conduits à écouler une partie de la récolte sur le marché parallèle et/ou dans les pays limitrophes, à la recherche d'un prix plus équitable.

Par ailleurs, ils ont entrepris des cultures de diversification telles que sésame, maraîchage et fruitiers, échappant ainsi aux contraintes liées aux céréales ; à propos du maraîchage, il faut citer le conditionnement de l'oignon en pays dogon, vendu dans tout le Mali, sous forme de boulettes séchées.

Selon BRICAS et FERRE (1990), la transformation des produits de cueillette s'est accompagnée d'une intensification de la cueillette elle-même, intéressant notamment le néré (*Parkia biglobosa*), donnant le netetou (Sénégal) ou le soumbala (Mali) ou le daoudaoua (Nigeria), et les graines de karité (*Butyrospermum parkii*) valorisées en beurre.

La valeur ajoutée due à la transformation est à la fois un facteur incitatif et une nécessité économique pour le monde rural.

Recours à l'emprunt

La paupérisation a touché la plupart des exploitations dans le nord du Sahel puis dans le centre, le point de départ étant la sécheresse de 1979-80 ; le processus a été caractérisé, chronologiquement, par la mise en gage du matériel de culture attelée dans les années 70, par la vente du cheptel de trait et du matériel agricole, puis par le déstockage des bovins, suivi par celui de la majeure partie des petits ruminants.

La migration s'est amplifiée au fil des ans, comme étant la seule solution pour alléger les charges et pour trouver d'autres sources de revenu.

En revanche, dans le centre et le sud, l'emprunt à des tiers (commerçants et agriculteurs domiciliés hors du village) ou à des gens du village reste en usage, le montant de l'endettement formel (Etat, CNCA) et informel étant imprécis dans les enquêtes. Les conditions de prêt sont très variables, les taux en vigueur étant élevés, en rapport avec la nature des relations de clientèle ou familiales et la durée du prêt. Le gage sur matériel n'est plus en usage vu l'obsolescence de celui-ci.

L'achat de vivres de soudure étant une opération très commune, certains agriculteurs achètent, à la fin de la campagne agricole, des céréales qu'ils stockent pour les revendre quelques mois plus tard, en dégageant une marge appréciable.

Commerce et artisanat

Les marchés hebdomadaires se sont multipliés et ont grandi en importance au fur et à mesure de la diversification des productions végétales y compris les ligneux (bois de perche, bois énergie, charbon), et animales, ainsi que du désengagement des Etats pour l'approvisionnement du monde rural en intrants (fongicide, insecticide, semences, engrais, matériel et pièces de rechange), de l'intérêt de ces marchés, en période de soudure, pour l'achat et la vente de céréales, et de leur rôle dans la collecte des produits de consommation pour les centres urbains.

Les chefs d'exploitation agricole leur consacrent de plus en plus de temps, la fonction vente et achat étant aussi importante à leurs yeux que celle de production ; la participation paysanne accrue à l'organisation des filières des produits de cueillette en témoigne.

Le commerce avec les pays voisins est en extension, en particulier avec les pays anglophones, le taux de change et la dévaluation étant favorables pour la

zone CFA et la complémentarité plus manifeste. La présence de la même ethnie de part et d'autre d'une frontière facilite les transactions et les transferts : cas des Haoussas de Maradi (Niger) avec le Nord nigérian pour le niébé et le bétail ; cas des Toucouleurs et des Ouolofs au sud du Siné-Saloum avec la Gambie pour l'arachide, dans le sens nord-sud certaines années et sud-nord d'autres. Les importations dites "frauduleuses", motivées par un barème de taxation différent, portent sur des produits divers comme les brisures de riz (plusieurs dizaines de milliers de tonnes par an), le concentré de tomate, le sucre, les tôles, les étoffes, les engrais et le matériel agricole. Avant 1980, les engrais et le matériel étaient subventionnés au Sénégal alors qu'ils ne l'étaient pas en Gambie ; depuis, les subventions ont été supprimées au Sénégal alors que des mesures de soutien à l'agriculture ont été renforcées en Gambie.

L'artisanat est un secteur d'activité non négligeable pour les ruraux surtout en saison sèche : confection de paniers (feuilles de rônier, tiges de guiera), de crinting (tiges de bambou tressées), de cordes (à partir d'écorce de baobab), filature du coton et tissage d'étoffes ; de plus, certains exercent quelques petits métiers comme maçon, peintre, puisatier, etc.

Migration

Elle a débuté dans les années 30 dans le bassin arachidier au Sénégal.

Il s'agissait de saisonniers, originaires du Mali et de Guinée, puis de la vallée du fleuve, en quête d'une activité complémentaire de celle qu'ils exerçaient dans leur village d'origine et/ou d'une possibilité d'émancipation ; en 1950, on en recensait 50 000 à Kaolack.

A partir de 1950, ce flux migratoire vers le Siné-Saloum a décliné et s'est diversifié. Ainsi, les Soninké et les Toucouleurs fournissent le plus fort contingent de migrants (40 % de la population active dans certains villages soninké), attirés par les centres urbains du Cap-Vert, les pays africains (Zaire, Congo, Côte-d'Ivoire) et la France.

En pays mossi, la migration s'est détournée du Ghana au profit de la Côte-d'Ivoire en 1961-62, en raison de la moindre baisse du prix du cacao (RUF, 1982) ; en 1961, 30 % de la classe d'âge des hommes (15-39 ans) était absente dans certains villages (MARCHAL, 1982).

L'essor démographique, la saturation foncière et la sécheresse n'ont fait que renforcer ce flux, les plus jeunes étant astreints les premières années, si leur séjour en Côte-d'Ivoire interférait avec le calendrier culturel du village familial, à payer de la main-d'œuvre salariée pour exécuter les travaux à leur place.

En pays sérère, une partie de la migration a suivi la vallée du Siné, puis s'est dirigée vers les départements de Foundiougne, de Sokone, plus au sud, et vers les "terres neuves" de Koupentoum/Mereto au Sénégal oriental, à la recherche de terres disponibles. Des échanges intenses ont lieu entre les villages de départ et ceux d'installation (céréales, animaux, revenus monétaires) mais, s'agissant du Sénégal oriental, il y a une rotation des personnes au sein des familles après quelques années, l'implantation demeurant permanente.

Les stratégies paysannes

Il paraît utile d'examiner plus en détail les ressources agricoles et non agricoles qui contribuent au fonctionnement des exploitations et, en particulier, de chiffrer l'apport de la migration dans la résorption du déficit vivrier et l'achat d'intrants.

O. N'DOYE et I. OUADREOGO (ISRA-BAME) ont étudié, en 1986-87, dans le bassin arachidier, au nord et au sud, les sources de revenu ayant servi à l'achat de céréales.

Dans le nord, où la situation de l'agriculture est très marginale, un tiers des céréales (mil et riz) est financé par les revenus des migrants permanents, un sixième par les salaires des migrants temporaires, un cinquième par les ventes d'ovins-caprins et un sixième par le commerce ; les revenus des migrants assurent l'achat de 50 % des céréales nécessaires.

Dans le sud, où les conditions de production sont plus clémentes, ce sont les revenus du commerce qui sont prépondérants pour l'achat de céréales (36 % du mil et 12 % du riz), puis les revenus de l'arachide (15 % du mil et 36 % du riz), suivis par ordre décroissant d'importance par les emprunts, les revenus de la migration et les autres sources de revenu (bétail, maraîchage, matériel agricole, etc.).

LOMBARD (1985), à l'issue d'une enquête menée, en 1984-85, en pays serer, au centre du bassin arachidier, a évalué à 293 kg la quantité moyenne de mil achetée par "cuisine" et à 960 kg celle relative au riz ; le déficit vivrier avait été de 50 % en 1983 et en 1984.

Les activités secondaires (commerce, transport, petits métiers) ont financé 40 % des achats de mil et 25 % des achats de riz ; la vente de bétail a couvert 23 % des achats de mil et 35 % de ceux de riz ; la vente de l'arachide environ 15 % du mil et du riz ; le revenu des migrants 22 % du mil et 23 % du riz.

Dans la même zone, des enquêtes effectuées la même année par M. GAYE et C. DIOUF (ISRA) ont fait ressortir que 45 % des semences d'arachide achetées (principal intrant) ont été financées par la vente d'ovins-caprins et 64 % des engrais l'ont été par les revenus agricoles, 20 % par les revenus d'autres activités (dont la migration et le commerce) et 16 % par la vente d'ovins-caprins.

Ces différents exemples permettent de saisir l'impact économique de la migration temporaire ou permanente, de la pluriactivité et de l'élevage pour la sauvegarde des exploitations familiales dans le nord et le centre ; dans la zone sud, les revenus du commerce et les emprunts sont consacrés à l'achat de mil et les revenus monétaires de l'arachide à l'achat de riz.

L'avenir de l'agriculture

L'avenir de l'agriculture au Sahel repose sur une réhabilitation du milieu naturel et sur l'économie de l'eau sous toutes ses formes. Cela suppose, à terme, un ralentissement du taux de natalité (tendance actuelle : doublement de la population tous les 15-20 ans) et une meilleure adéquation du nombre d'habitants/km² et de la charge d'animaux, au regard des potentialités agro-écologiques et de leur complémentarité.

Réhabilitation du milieu naturel

La capacité de régénération de la strate ligneuse est exceptionnelle (cas de *Balanites aegyptiaca*) et il suffirait d'une série de quelques hivernages plus cléments, doublée d'une gestion plus conservatrice, pour rétablir l'arbre dans le paysage : fin 1988, les *Acacia albida* ont recouvert une partie de leur frondaison grâce à une pousse vigoureuse, suite aux fortes pluies d'août et septembre (percolation en profondeur) en zone serer.

La réimplantation de haies mortes ou vives, à base d'euphorbes, de mise en œuvre facile (bouturage en avril-mai) et connue des paysans, en s'appuyant sur les limites des champs, sur les chemins ou pistes, et le modelé du terrain, facilitera ultérieurement l'installation naturelle et/ou artificielle d'arbustes et d'arbres. La protection des rejets d'acacia et des jeunes plants issus de semis naturel, des reboisements ponctuels, en vue de recréer un parc, plus ou moins lâche en fonction des conditions édapho-climatiques qui prévalent, ont et auront des effets positifs sur la réduction de l'évapotranspiration potentielle, de l'érosion éolienne et hydrique (DANCETTE, 1984).

Ces actions sont à intégrer dans une politique de réduction des besoins des centres urbains en énergie domestique à partir du bois et de ses dérivés (remplacement par le gaz importé et subventionné) et de ceux des ruraux (foyers améliorés, gaz importé ou production du biogaz et de compost).

Economie de l'eau

L'économie de l'eau, au sens large du terme, implique des opérations très diverses :

- collecte de l'eau de pluie et stockage (citernes), technique répandue au Maghreb et dans les îles du Cap-Vert, mais peu usitée au sud du Sahara : cela éviterait à de nombreux villages éloignés des puits ou forages d'être obligés, lors des premières pluies utiles pour l'installation des cultures, de mobiliser leurs attelages pour le ravitaillement en eau, jugé prioritaire ;

- implantation de haies et/ou de cordons pierreux, selon le substrat, pour augmenter l'infiltration, freiner la vitesse de l'eau qui ruisselle et limiter l'érosion, la décision et la réalisation étant individuelles pour les parcelles et les champs, et collectives à l'échelon du bassin versant englobant les terroirs non cultivables et les bas-fonds.

Le stockage des eaux, permettant l'abreuvement du bétail, l'irrigation contre-aléatoire et la recharge des nappes, nécessite des retenues en gabion et en argile.

Des mesures incitatives sont à prévoir (aide alimentaire et/ou aide au transport) compte tenu de l'expérience acquise au Mali, au Burkina Faso et au Sénégal

Parmi les acquis disponibles résultant des travaux de recherche et offrant des perspectives d'amélioration, citons :

- à l'échelle de la parcelle, techniques culturales créant une microrugosité en vue de faciliter l'infiltration, telles que le scarifiage (à dent en sec) et le buttage ;
- emploi de variétés à cycle plus court, donc moins consommatrices d'eau et ayant une meilleure courbe de réponse à l'eau (kg eau/kg matière sèche) ;
- lutte précoce contre les adventices.

L'association mil-niébé est à relancer dans le centre-sud (pluviométrie supérieure à 500 mm) avec une répartition spatiale spécifique, à savoir, pour le mil, une distance de 1,80 m entre les lignes et 0,45 m sur la ligne, et pour le niébé deux lignes dans l'interligne du mil. Les lignes étant orientées est-ouest, le semis du niébé intervient un mois après celui du mil.

La diversification des cultures dans les bas-fonds (maraîchage d'hivernage et de contre-saison et arbres fruitiers) est également à recommander.

Systèmes de culture : variétés et fertilisation

Les variétés à cycle court ont été une première réponse à la sécheresse. Dans le cadre du réseau R3S (INSAH-CILSS-CORAF), le CERAAS, à Bambey, mène des recherches basées sur les données bioclimatiques, physiologiques et génétiques

afin d'obtenir des cultivars aptes à tolérer un stress hydrique en cours de végétation (KHALFAOUI *et al.*, 1989)

La création de variétés à développement racinaire rapide, en mesure d'exploiter un volume de sol suffisant et de laisser en fin de cycle une biomasse significative, ayant une croissance végétative aérienne compatible avec le stock en eau disponible (prévision de 80 %), est à encourager.

L'effet rhizosphérique du mil est connu globalement et il importe d'approfondir les connaissances sur les flux hydriques et minéraux à travers les systèmes racinaires (mécanismes et facteurs d'amélioration).

La fixation symbiotique de l'arachide a été l'objet de travaux par GANRY (1990). Les systèmes symbiotiques forestiers (bactéries genre *rhizobium* et champignons mycorrhiziens) ainsi que les interactions arbres x cultures annuelles et herbacées ont été étudiés par le CTFT, l'ISRA et l'ORSTOM, et il importe de renforcer les recherches relatives à la biologie des sols.

En pluvial, la fertilisation minérale, malgré la carence phosphatée générale, n'est justifiable économiquement que dans le centre-sud du Sahel (> 400 mm de pluie).

L'agroforesterie – dont l'idéotype est le parc à *A. albida*, du fait de son désaisonnement végétatif par rapport aux cultures annuelles et de son enracinement pivotant et profond, ainsi que l'association *Guiera senegalensis* et plantes cultivées, une variante moins performante mais largement répandue –, est une solution à étendre vu sa contribution à la lutte contre la désertification (réduction de l'évapotranspiration potentielle et de l'érosion éolienne), au recyclage des éléments minéraux et à la reconstitution du stock de matière organique.

Dans le centre-sud, où les conditions édaphoclimatiques sont plus favorables, l'emploi des phosphates naturels, partiellement attaqués par l'acide, sous forme de granulés, est à recommander.

Partout la collecte et le traitement de la biomasse des sous-produits de récolte sont à encourager (stabulation fumière, compostière), avec enrichissement en phosphore par adjonction de phosphates naturels.

Dans la majorité des cas, la poudrette de parc, et plus rarement du fumier plus ou moins pailleux, sont épanchés sur les champs de céréales ; il a été démontré qu'en sols sableux dégradés l'application de fumier était mieux valorisée par la légumineuse, la céréale lui succédant bénéficiant de l'amélioration de la fixation symbiotique.

En périmètres irrigués, le taux d'intensification culturale est à améliorer, soit en attribuant des surfaces plus conformes à la capacité de travail des familles d'agriculteurs, soit en mettant à leur disposition des itinéraires techniques permettant de dégager une marge nette incitative par journée de travail.

Sur ces mêmes périmètres, l'introduction de la ligniculture, le long des colatures, sous forme de brise-vent monolinéaires (production annuelle de 20 m³/km de plantation avec *E. camaldulensis*), est à encourager.

Dans ce milieu artificialisé, la diversification des productions végétales est très large et très prometteuse à condition d'en prévoir dès le départ la transformation et les débouchés.

Culture attelée

La durée d'utilisation quotidienne et la disponibilité des animaux de trait seraient accrues si les harnachements relatifs aux ânes et aux chevaux étaient plus appropriés et si leur alimentation en début d'hivernage était assurée. En effet, d'une part, les systèmes actuels occasionnent des plaies, au garrot le plus souvent, qui s'in-

fectent en période humide, d'autre part, la faiblesse physique des animaux amène les propriétaires à ne les faire travailler que par demi-journée, et donc à disposer d'animaux supplémentaires pour pallier cette carence.

Un conditionnement rationnel de la traction animale avant la saison des pluies paraît essentiel pour son emploi optimal.

Systèmes d'élevage

La sédentarisation d'une fraction du troupeau bovin, qui dépend des exploitations agricoles, est en cours, la transhumance de l'autre partie étant un palliatif conjoncturel compte tenu du déficit en ressources fourragères pour subvenir aux besoins des animaux de trait et d'embouche, toutes espèces confondues, ainsi que du cheptel de rente présent toute l'année au village.

Deux actions concomitantes sont à entreprendre, outre le réajustement de l'effectif du bétail : un accroissement des sous-produits de récolte de l'exploitation agricole (en quantité et en qualité), à réaliser également par la production de fourrage en dérobée dans les céréales, là où la pluviométrie le permet, à base de niébé, dolique et pois d'angole ; une meilleure valorisation de cette provende par une distribution rationnelle (auge, paniers tressés en guiera), lors des périodes critiques dont celle de la soudure (mai-juin), aux animaux de trait mais aussi aux jeunes et aux femelles en gestation ou en début de lactation.

Une complémentation en aliments achetés à l'extérieur (graine de coton, tourteau d'arachide, son de céréales, farine de cône) sera nécessaire, surtout dans le centre-nord, pour valoriser les pailles de céréales (énergie) en l'absence de fanes de légumineuses (azote).

La réinsertion de ligneux à fonctions multiples (haies vives, vergers fourragers clôturés, arbres associés aux cultures annuelles) donnera plus de souplesse au calendrier fourrager.

En dehors des campagnes nationales de vaccination, s'adressant surtout aux bovins, le déparasitage interne des ovins, caprins et équins est conseillé.

L'introduction de géniteurs améliorés ne devrait être envisagée qu'après une amélioration durable de l'environnement sous peine de graves déboires, faute d'une rusticité et d'une plasticité adéquates.

L'amélioration du cheval devrait faire l'objet d'un programme de recherche à moyen et long terme compte tenu de sa place au Sahel.

Un plan de type "Marshall" pour l'Afrique ?

Une gestion rationnelle de l'espace implique une concertation de tous ceux qui en bénéficient, pour l'élaboration de nouvelles règles d'utilisation et la création d'instances responsables chargées de veiller à leur bonne application.

Cela suppose la consolidation, par la formation et l'information, des organisations paysannes, qu'elles aient pour origine des groupements spontanés ou des groupements de base suscités par les sociétés de développement, les femmes étant présentes dans ces associations.

La structuration des filières, formelle ou informelle, d'approvisionnement en intrants et en produits de base ainsi que de celles relatives aux productions agricoles, incluant la transformation, avec la participation des agriculteurs et des com-

marchants, doit être appuyée par les autorités du fait du désengagement des Etats et de l'incidence de la vérité des prix.

L'équipement du milieu rural en matériel de culture attelée doit être activé car on se trouve actuellement devant deux situations : soit le taux des exploitations équipées est élevé mais leur degré de vétusté est très avancé, sans possibilité de renouvellement, soit ce taux est très bas mais les modalités d'accès au matériel de culture attelée sont trop contraignantes.

Un plan de type "Marshall" pour l'Afrique semble la seule solution pour répondre rapidement aux besoins actuels des exploitations agricoles du Sahel (environnement et intrants).

Nombre d'entre elles sont confrontées à de sérieuses difficultés et elles ne doivent leur survie qu'aux revenus de la pluriactivité et de la migration ; or, la crise économique et les mesures restrictives de circulation des personnes, que ce soit en Afrique ou en Europe, risquent d'en limiter l'ampleur et donc les revenus.

Bibliographie

- BRICAS N., FERRE T., 1990. Action thématique programmée "Pilotage concerté de l'innovation technologique dans les filières courtes". Compte rendu de mission au Sénégal, février-mars 1990. Montpellier, CIRAD-CEEMAT, 21 p.
- DANCETTE C., 1984. Contrariétés pédoclimatiques et adaptation de l'agriculture à la sécheresse en zone intertropicale. *In* : La sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée. Actes du colloque "Résistance à la sécheresse en milieu intertropical : quelles recherches pour le moyen terme ?", Dakar (Sénégal), 24-27 septembre 1984. Paris, CIRAD.
- GANRY F., 1990. Rôle des légumineuses dans le maintien et la régénération de la fertilité azotée des sols sableux tropicaux. *In* : Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales. Actes des journées de la DRN, Montpellier (France), 12-15 septembre 1989. Montpellier, CIRAD-IRAT, p. 281-287.
- KHALFAOUI J.L., ANNEROSE D., EVAIN D., 1989. Premier rapport scientifique du CERAAS (Centre d'étude régional pour l'adaptation à la sécheresse), 1^{er} février-31 juillet 1989. Bambey, CERAAS-CNRA.
- LOMBARD J., 1985. Disponibilités alimentaires en céréales et stratégies de survie en pays sereer. Dakar, ORSTOM, 39 p.
- MARCHAL J.Y., 1982. L'option pour l'"extensif". L'évolution de l'agriculture mossi (Haute-Volta). *Econ. Rur.*, 147-148 : 63-71.
- RUELLE P., SENE M., JUNCKER E., DIATTA M., PEREZ P., 1990. Défense et restauration des sols. Fiches techniques. Dakar, ISRA, 50 p. (vol. 1, n° 1).
- RUF F., 1982. Les règles du jeu sur le foncier et la force de travail dans l'ascension économique et la stratification sociale des planteurs de Côte-d'Ivoire : quelques éléments d'analyse et signes d'évolution technique. *Econ. Rur.*, 147-148 : 111-119

Développement et aménagement des espaces ruraux

**Yves Clouet
CIRAD-SAR**

Table des matières

Pouvoirs centraux et stratégies locales	271
Deux logiques de développement	272
Un mouvement libéral d'origine urbaine	272
Un mouvement d'initiatives locales	272
Quatre grandes orientations pour les interventions	273
La gestion des espaces ruraux	279
La part du local	279
La part de l'Etat et de la ville	283
Construire un espace répondant aux besoins des populations	286

Pouvoirs centraux et stratégies locales

De toutes les régions situées au sud du Sahara, le Sahel est sans doute celle où la gestion des espaces ruraux est la plus difficile : les mutations démographiques, sociales et écologiques, les crises des systèmes de production et l'insécurité alimentaire sont telles que les acteurs qui y sont impliqués ne trouvent pas facilement de solutions capables d'améliorer efficacement et durablement la situation.

D'un côté, les politiques des organisations internationales et des Etats comme les stratégies des acteurs locaux s'enchevêtrent dans un ensemble souvent confus. Par ailleurs, sous des formes variables dans le temps et dans l'espace, ces mêmes acteurs mettent en place des stratégies de résistance et d'adaptation originales et porteuses d'avenir.

Pour rendre compte de l'ensemble des mutations et évaluer l'ampleur des enjeux, on peut partir d'une double hypothèse.

- D'une part, les pouvoirs centraux et urbains ajustent leurs stratégies en fonction des échecs et des réussites qu'ils connaissent, des contraintes économiques, des réajustements structurels FMI-Banque mondiale, des requêtes écologiques internationales et finalement des demandes régionales et locales de plus en plus pressantes.

Sous ces pressions successives, les Etats passent des projets "productivistes" où le milieu rural est une réalité massive et inépuisable, mis en valeur par un encadrement porteur de progrès, à des projets "intégrés" susceptibles de prendre en compte plusieurs composantes (infrastructures, crédit, alimentation, santé...), pour finalement aboutir à des projets "contractuels" incitant les agriculteurs à s'autodévelopper, à produire plus et mieux sans épuiser leur écologie.

- D'autre part, des forces et des stratégies rurales locales, historiquement et culturellement liées à l'espace qui les a vu naître et qu'elles façonnent à leur image, évoluent sous la double pression de déséquilibres internes (ruptures démographiques, épuisement des ressources, changements techniques, décapitalisation...) et externes (sécheresse, chocs politiques, chute des prix).

Ces forces, organisées sous forme de pouvoirs locaux, aménagent l'espace qu'elles occupent, mettent au point des politiques de résistance et d'adaptation, élaborent de nouveaux systèmes de production. Mais les défis sont tels que les réponses formulées sont souvent hésitantes. Elles arrivent néanmoins à s'imposer compte tenu de la carence des Etats en matière de développement. Ainsi fleurissent de nombreuses organisations professionnelles, témoins de la vivacité des sociétés locales, qui obligent les pouvoirs centraux à accepter des compromis.

Ainsi, en 30 ans, dans un jeu dialectique entre pouvoir central et société rurale, on passe d'une situation où l'Etat organise, structure et définit le développement à une situation inverse où il met en place des stratégies de désengagement, quitte aux sociétés rurales à se développer elles-mêmes.

Pendant ces mêmes 30 années, le contexte général a cependant énormément changé :

- les démographies ont doublé sinon triplé localement : l'espace autrefois infini est saturé, fermé et disputé sans que le code d'appropriation soit clair (confusion entre droit coutumier, droit étatique, code islamique) ; cela retarde d'autant les investissements productifs, l'intensification des cultures et l'évolution des systèmes de production ;

- les grandes villes ont démesurément grossi sans qu'elles jouent le rôle de moteur économique qu'on est en droit d'attendre ; il n'y a pas d'environnement économique porteur ; les prix sont peu stimulants, l'aide alimentaire casse les dynamismes de production locaux ;

• l'appareil administratif est omniprésent, inefficace ; les structures et les politiques de recherche et de développement sont technocratiques et peu motivantes pour les ruraux.

Deux logiques de développement

Dans ce contexte, relever le défi d'un nouveau développement et de nouvelles modalités d'aménagement capables de prendre en compte l'ensemble des problèmes qui se posent exige autant des pouvoirs centraux et des organisations internationales que des sociétés rurales. Cela suppose non seulement l'émergence de nouvelles façons de comprendre, d'analyser et d'évaluer les situations, mais aussi la capacité de créer les démarches, les méthodes, les outils permettant de leur donner corps. Cela suppose enfin l'émergence d'hommes et d'institutions capables de mettre en œuvre de nouvelles stratégies.

Schématiquement, deux dynamiques, deux logiques de développement structurent les interventions actuelles.

Un mouvement libéral d'origine urbaine

Il vise à transformer l'environnement du monde rural, c'est-à-dire :

- désengager l'Etat, professionnaliser les producteurs pour qu'ils maîtrisent la transformation et la commercialisation de leurs produits, leurs financements et deviennent des agents économiques efficaces capables de s'intégrer à l'économie de marché ;
- consolider cette économie marchande en soutenant la réalisation d'une armature urbaine mieux répartie dans un espace économique mieux organisé, autour de pôles urbains régionaux et locaux renforcés ;
- maîtriser l'aval et l'amont de la production pour permettre l'émergence d'une révolution agricole (produire plus et mieux sur le même espace) ;
- préserver les écologies tout en intensifiant les productions.

Pour ce dernier point, cela signifie, après avoir délimité dans chaque village le patrimoine foncier qui lui revient, définir contractuellement les modalités de sa mise en valeur et de son aménagement. Cela inclut, outre l'émergence d'une politique foncière, les appuis techniques et les financements permettant de réaliser des aménagements tels que les dispositifs antiérosifs, la gestion et l'aménagement de pâturages, l'agroforesterie ou les aménagements de bas-fonds, etc.

Le développement devient alors synonyme d'intégration à la ville, de diffusion du progrès technique, de rationalité productive et industrielle. Ce que connaît l'Occident et qui aboutit à la division du travail, à la maîtrise technique, à la concentration des moyens de production et à la multiplication des échanges pour accroître les profits et accumuler le capital. Le moteur du processus n'est plus l'Etat, porteur de projets plus ou moins technocratiques, mais la société civile elle-même.

Un mouvement d'initiatives locales

Il est issu des sociétés rurales elles-mêmes qui cherchent à vivre (voire à survivre) et évoluent tout en essayant de préserver leur identité sociale, économique et culturelle.

En Afrique sahélienne, cela conduit beaucoup de sociétés à reconsidérer leur organisation et à modifier leurs optiques.

A la différence des organisations centrales, ces stratégies sont cependant multiformes et très rarement formulées de façon claire. On a plutôt affaire à une gamme assez souple de pratiques consistant à réajuster des acquis quelquefois millénaires. Ces pratiques sont complexes, mouvantes et ne se laissent pas facilement enfermer dans des schémas simples. De plus, l'important renouvellement des groupes différencie constamment les stratégies. Sans entrer dans le détail de ces dernières, il est important de rappeler quelques éléments qui permettent de comprendre les logiques paysannes :

- la recherche systématique du moindre risque ;
- la prédominance des problèmes immédiats par rapport au long terme ;
- l'approche globale des situations ;
- le sens du temps, de la durée et du défi, du compromis que l'on accepte pour mieux parvenir à ses fins ;
- la rentabilité du travail.

Il n'est pas sûr, dans ces conditions, que les sociétés rurales locales acceptent d'emblée les propositions inhérentes à l'économie libérale. Ces impulsions externes, qu'elles proviennent de l'Etat ou de la société civile, provoquent en effet des réactions très variables des acteurs locaux. *"Ils mettent en place des stratégies de résistance, de restructuration ou de renouvellement en fonction de leurs capacités d'analyse, des représentations qu'ils ont de leur milieu et des moyens qu'ils se forgent pour maîtriser les défis qu'ils rencontrent. En ce sens les projets qu'ils formulent et mettent en œuvre ne peuvent être que globaux. Ils concernent aussi bien l'organisation économique, la maîtrise de l'espace que la régulation sociale."* *

Ces deux lectures volontairement contrastées font apparaître l'importance qu'il y a à articuler, si cela est possible, les stratégies des Etats et les processus de décision à l'ensemble des pratiques et stratégies multiformes des acteurs locaux. Cela souligne l'importance de disposer d'approches, de méthodes et d'outils efficaces, d'expliquer aux différents acteurs concernés les attentes, les enjeux et la signification des actions entreprises. Cela suppose également l'émergence d'équipes, d'institutions capables de gérer de telles opérations.

Quatre grandes orientations pour les interventions

La diversité des situations rencontrées rend incertaine toute tentative de généralisation : à chaque équipe, à chaque acteur de définir et d'ajuster ses méthodes, ses outils, en fonction du contexte où il intervient.

Il est cependant important d'avoir des points de repère pour comprendre comment s'articulent et évoluent les rapports entre pouvoir central et sociétés rurales locales afin d'y intervenir à bon escient. Pour ce faire, nous proposons les quatre orientations ou principes généraux qui suivent.

* HOUËE P., 1989. Les politiques de développement. Paris, INRA.

■ Explorer l'espace, comprendre son organisation, articuler plusieurs échelles géographiques

Autrefois immense, l'espace se rétrécit. Il s'organise et se hiérarchise sous l'effet de deux mécanismes :

- une succession de fronts pionniers qui ouvrent des brèches dans toutes les zones cultivables (savanes, bas-fonds) et entraînent un bouleversement des équilibres naturels ;
- la mise en place progressive de maillages et de réseaux de communication qui agrègent ces fronts à partir de pôles urbains ; ils redéfinissent les évolutions villageoises en fonction de logiques urbaines et créent de nouveaux espaces dans lesquels l'économie de marché et les comportements qui lui sont liés deviennent dominants.

Ces deux mécanismes se confrontent et/ou se chevauchent : le premier plutôt "agricole" et local, l'autre plutôt "économique" et urbain. Les bourgs et petites villes marchandes sont autant de points de contact entre ces deux univers que sont la "ville" et la "campagne".

On aboutit ainsi aux trois niveaux suivants :

- l'espace local, qui rassemble villages et bourgs marchands : il constitue un niveau cohérent au Sahel sur un fond de lignages et racines ethniques forts, où les organisations paysannes trouvent leur terrain d'ancrage ;
- l'espace régional, qui essaye de s'implanter autour de petites villes, celles-ci s'affirmant cependant davantage comme relais de la capitale que comme moteur économique régional ; la fragilité de son organisation pose problème car il s'avère incapable d'empêcher le départ d'une paysannerie vers le prolétariat des grandes villes ;
- l'espace national, dont le symbole est la capitale nationale où s'élaborent les politiques nationales ; l'effondrement des Etats et des programmes qu'ils soutiennent redonne vigueur aux entités locales. Les régions arriveront-elles à en profiter et les capitales régionales à intégrer leurs périphéries plutôt que de servir de relais à la capitale ?

Ces palliers ne sont pas figés. Bien au contraire, sous-tendus par des logiques de production et de consommation urbaines, ils sont soumis à des flux de biens et à des migrations d'hommes, qui modifient leur équilibre respectif et aboutissent à concentrer les handicaps ou à démultiplier leurs pouvoirs. On peut alors distinguer :

- les espaces intégrés à la ville, qui concentrant les hommes et les pouvoirs reconstruisent l'espace, y imposent leur modèle, entraînent souvent l'exclusion des autres activités voire des habitants initiaux ;
- les espaces marginalisés, souvent éloignés et pauvres ; l'agriculture reste la seule activité ; l'exode y est important et modifie les rapports sociaux et la force de travail ;
- les espaces de transition entre ces deux dynamismes d'intégration et/ou de marginalisation.

■ Appréhender les situations rurales dans leur globalité, articuler disciplines, filières et systèmes

Pour asseoir leurs démarches de développement et d'aménagement dans le domaine si complexe de l'espace rural, les services de l'Etat (développement, recherche, planification...) ont développé des approches sectorielles, notamment par discipline et par filière. Chacune est efficace prise séparément, mais répond mal à la diversité des situations agricoles et des demandes sociales, qui sont globales et complexes.

L'approche système articule ces approches sectorielles, appréhende mieux les multiples interactions entre les sociétés et leur espace et définit des voies et moyens de développement et d'aménagement plus ajustés aux problèmes rencontrés, en prenant en compte les caractéristiques propres à chaque territoire et l'environnement local.

☐ Les caractéristiques propres à chaque territoire

On peut les regrouper en quatre ensembles.

Les éléments correspondants au peuplement humain concernent aussi bien les caractéristiques démographiques de la population, leur nombre, leur répartition par classe d'âge et de sexe que leur organisation sociale, à travers les rapports de pouvoir notamment.

Les éléments correspondant aux caractéristiques du milieu physique sont principalement la terre, le couvert végétal, qui ont une influence sur l'exploitation de l'espace occupé par la population. Ces éléments existent rarement à l'état naturel. Ils sont souvent transformés par l'homme grâce à des aménagements quelquefois assez sophistiqués qui permettent une amélioration des ressources naturelles : barrages, diguettes antiérosives...

Les techniques d'exploitation du milieu sont représentées par les outils, les variétés, la succession des opérations culturales ou les techniques de conservation et de reconstitution des ressources naturelles.

Les éléments concernant l'argent comprennent aussi bien la vente des surplus qui existent dans le village que les approvisionnements qu'il faut se procurer pour mieux vivre ou mieux produire. Les échanges dépendent énormément des productions primaires (végétales et animales) et secondaires (artisanat), du niveau de monétarisation et de la pénétration de l'économie marchande. Dans ce contexte, l'influence des prix ainsi que l'existence de crédit avec ses adaptations aux besoins et aux modes de remboursement des différentes catégories sociales sont déterminantes.

Les interactions entre ces différents éléments définissent les systèmes ruraux, leur donnent cohérence, efficacité ou fragilité.

☐ L'environnement économique

Si les systèmes ruraux doivent en partie leurs performances à l'excellence de leur organisation interne, les relations avec leur environnement sont déterminantes : ce dernier joue un rôle de frein ou de stimulant dans la structure et le fonctionnement du territoire. Tout système rural est affecté par ses voisins proches ou lointains.

L'environnement économique peut même agir "contre" le système local, lui imposer des contraintes et des décisions qui le brident et même risquent de le détruire. A la limite, toute décision nationale a des effets locaux contradictoires. Par exemple, la politique de gestion des terroirs villageois, très adaptée dans les zones agricoles fixées, peut s'avérer catastrophique dans les zones pastorales, dans la mesure où les terroirs sont ouverts et les populations nomades.

L'espace apparaît donc comme produit par une multiplicité d'acteurs dont les intérêts sont plus ou moins convergents ou contradictoires. Les interventions sont le fait d'agents extérieurs au milieu qui entrent en relation avec une population locale.

Pour définir des interventions adaptées aux problèmes rencontrés par une population sur le territoire qu'elle occupe, on adopte les règles suivantes :

- ce sont les choix, les stratégies des habitants qui influencent les événements, les situations, les caractéristiques propres à chaque territoire ;

- ces choix sont cohérents par rapport à la façon dont les villageois analysent les situations qu'ils vivent (manque de céréales, manque d'argent, baisse d'eau dans les puits, possibilité de faire du jardinage...) et par rapport aux objectifs qu'ils poursuivent (se marier, nourrir la famille...);

- la cohérence d'ensemble du système se réfère à la vision qu'ont les villageois de leur situation; en conséquence, cela n'exclut pas l'existence de contradictions ou antagonismes, voire de décisions jugées inadéquates par un observateur extérieur ayant des informations et des références différentes de celles de l'agriculteur.

■ Raisonner les interventions dans le court terme comme dans la longue durée, tant au plan historique que prospectif

Les relations entre pouvoir central et sociétés rurales au Sahel s'inscrivent dans un mouvement historique suscité par la diffusion du progrès technique, l'accumulation du capital et l'appropriation des ressources locales par des pôles urbains qui restructurent l'espace rural et y déterminent de nouvelles évolutions.

Il importe donc de replacer les interventions, souvent ponctuelles et limitées dans le temps, dans des trames temporelles plus longues qui permettent de comprendre ce qui s'est passé comme ce qui risque de se produire. Pour cela, nous proposons trois types d'analyse :

- l'analyse des facteurs d'évolution, ou des grandes forces productives : force de travail, capital, niveau d'information technologique et ressources dont les interactions définissent les systèmes ruraux, leur donnent vie ;

- l'analyse historique, qui retrace les interactions entre ces forces productives et permet de comprendre comment s'est structurée la situation actuelle, ses points forts, ses acquis, ses grands traits de fonctionnement, ses tendances... ;

- l'analyse prospective, qui évalue les contradictions et les désordres, les permanences et les synergies existant au sein des systèmes locaux : cette analyse essaye de donner prise sur l'avenir tout en ayant conscience des multiples aléas qui peuvent intervenir. En fait, il ne s'agit pas tant de spéculer sur des évolutions probables que de se donner des moyens concrets et organisés d'actions permettant de créer des situations qui répondent le mieux aux demandes, préoccupations et stratégies en cours.

Ces trois analyses sont liées. Elles rappellent qu'il n'existe pas de déterminisme, mais qu'au contraire les solutions possibles pour résoudre un problème sont nombreuses et que la réalité navigue entre deux tendances : à de longues phases de stabilité succèdent des périodes d'innovations, de crises et de mutations au cours desquelles apparaissent de nouvelles possibilités.

□ Les facteurs d'évolution

Ils varient suivant les situations mais peuvent se regrouper en quatre grandes forces dont on évalue la reproductibilité grâce à des bilans.

Les ressources écologiques (eau, sol, plante, animal), énergétiques et spatiales (aménagement, situation, patrimoine) n'ont pas de valeur en elles-mêmes, elles n'ont que celle que leur attribuent les hommes. Les bilans hydrauliques, de fertilité, énergétiques ou spatiaux permettent d'en apprécier l'importance ou l'état (dégradation ou amélioration).

L'information représente l'ensemble des apprentissages et des techniques et tout ce qui relève de leur transmission, notamment la formation. Son état fixe l'éventail des activités qu'un espace peut recevoir. Un bilan des savoirs est difficile à réaliser. Il peut néanmoins s'apprécier en termes de transferts de compétences de connaissances et de techniques.

Le capital est constitué de la richesse investie en moyens de production de biens ou

d'information. Il faut attendre souvent longtemps avant que les sociétés soient en mesure d'accumuler (c'est-à-dire de ne pas tout consommer en reproduction simple) et peut-être plus encore pour qu'elles investissent et dépassent la simple thésaurisation. Les bilans de trésorerie et surtout les comptes d'exploitation permettent d'évaluer le montant des revenus, la nature et la pertinence des investissements productifs.

Enfin, les hommes et leur force de travail, en quantité certes, mais en qualité également : partage des rôles, organisation et durée du travail, rythme du travail qui peuvent être approchés par les bilans démographiques et les calendriers de travaux.

On pourrait prendre en compte d'autres facteurs et bilans (alimentaire, nutritionnel, sanitaire...) et/ou l'efficacité d'un intrant (heure de travail, matériel, engrais) par rapport aux résultats obtenus, mais l'essentiel est de pouvoir juger de la reproductibilité d'un système et de sa capacité d'accumuler ou au contraire de se dégrader, d'analyser les contradictions et les désordres.

Il faut aussi apprécier comment se fait le pilotage du système : l'art de gouverner et de se gouverner comprend l'art de décider comment et à quoi affecter les surplus quand ils existent, redresser les déséquilibres, etc.

Encore faut-il une bonne appréciation de l'ensemble des interactions entre les grandes forces productives qui définissent les systèmes ruraux. Or il est rare que les relations soient simples entre une population, les ressources qu'elle met en valeur, les informations et les capitaux dont elle dispose pour le faire.

Pilotage et pouvoir ne sauraient être confondus. L'espace a de nombreux acteurs. Certains ont beaucoup de pouvoir, d'autres peu. Certains fonctionnent ensemble, d'autres sont en conflit. La performance de la gestion locale est le résultat de la coopération, de ses choix et de la solution de ses conflits et contradictions.

□ L'analyse historique

Elle permet d'étudier comment les facteurs précédents évoluent et structurent l'espace rural. Les approches développées par les économistes allemands du XIX^e siècle, par Braudel et Wallerstein puis tout récemment par Dollfus, font apparaître les dynamiques suivantes :

- L'émergence d'une grande diversité de situations rurales, "un triomphe écrasant du pluriel" dû à une dispersion de groupes humains sur de vastes superficies. Cette diversité est fille de la distance, qui préserve tous les particularismes. Le village en est le symbole : c'est une cellule humaine qui permet la colonisation du facteur de production "sol" avec un idéal : tout produire. Il a ses institutions, ses chansons, ses proverbes. Cependant, tout village a beau faire, il ne se suffit jamais à lui-même, il lui faut échanger et vendre pour se procurer ce qu'il ne peut produire. C'est la première rupture vers les agrégations plus vastes.

- Le passage d'économies paysannes locales à une économie de marché régionale, caractérisée par un premier basculement de la campagne vers la ville, avec pour caractéristique secondaire une agriculture qui représente moins de la moitié de la production totale.

- L'implantation d'un système mondial qui concentre les hommes, le capital, la connaissance, les activités et les pouvoirs sur des surfaces restreintes, où apparaissent alors les mégapoles. Leurs logiques, leurs cultures envahissent et redéfinissent tout. Elles transforment progressivement les réalités locales.

□ L'analyse prospective

Elle permet, en prolongeant les dynamiques sociales, économiques, écologiques et techniques précédentes, de suivre et éventuellement de précéder les événements. Plusieurs scénarios tendanciels peuvent formaliser les situations possibles à court et à moyen terme.

Il ne s'agit pas uniquement de présenter ces situations futures, il faut imaginer celles qui répondent le mieux aux demandes, aux préoccupations et stratégies en cours. Il faut inscrire dans le champ du possible une réalité qui soit la plus satisfaisante pour le plus grand nombre.

En fait, ce passage de la situation actuelle à une situation future adaptée aux exigences de son environnement est au cœur des problèmes de développement. Cela pose la question d'une évolution contrôlée des mutations en cours. S'agit-il d'accompagner ces changements, de les conforter ou de les créer ? Qui intervient et comment ?

Cet aspect prospectif pose assez directement la question du devenir du Sahel, de sa marginalisation. Que signifie en effet le désengagement de l'Etat par rapport à une zone difficile et le fait de prôner l'obligation des acteurs locaux de prendre en main leur propre développement ? S'agit-il d'un abandon ? Moins de routes, moins de crédit, moins d'intrants... ? Ou au contraire, la réalité d'une aide plus intelligente et plus ajustée à des zones difficiles ? Comment, dans ces conditions, vont se réaliser les indispensables mutations techniques et économiques (motorisation, accumulation de capital...) sur fond de crise sociale et économique ?

■ Articuler les logiques des acteurs et en tirer les conséquences institutionnelles

Plusieurs acteurs interviennent dans le milieu rural. Les paysans d'abord, qui s'imposent par leur importance et de plus en plus par leur organisation, puis à leur périphérie les services du développement, de la recherche, de la planification, des organismes économiques, et dans une périphérie plus lointaine mais non moins réelle les politiques et les financiers... Plusieurs décennies de "développement" ont mis en place des projets où les paysans étaient peu décideurs et devaient jouer un rôle d'exécutants dans des mécanismes qui leur étaient souvent étrangers. Ces projets visaient davantage la production que les producteurs eux-mêmes, avec des méthodes et des concepts plus urbains que ruraux.

Les changements actuels redonnent leur juste place aux paysans en tant que décideurs. Les organisations professionnelles qui émergent en sont le symbole. Cette profonde mutation incite actuellement les Etats à examiner de près les stratégies paysannes et à prendre les agriculteurs comme principaux partenaires du processus de développement rural et non plus comme cibles, comme moyens ou comme exécutants. On voit actuellement émerger des associations de cadres s'offrant comme prestataires de services à des organisations professionnelles. Cette évolution est tout à fait représentative des changements en cours.

Les principales conséquences institutionnelles qui résultent de ces changements des rapports entre acteurs (largement développées par ailleurs *) font apparaître :

- la nécessaire émergence d'organisations paysannes ;
- l'appui de techniciens compétents, mieux formés et moins nombreux ;
- une meilleure articulation entre recherche, développement, formation ;
- l'importance de relais régionaux renforcés ;
- la mise en place de politiques nationales articulant les contraintes du marché international et le potentiel productif interne du pays ;
- des choix de financement allant à l'essentiel en ce qui concerne les organisations internationales.

* Groupe de travail Coopération française, 1990. Les interventions en milieu rural. Principes et approche méthodologique. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement.

La gestion des espaces ruraux

Comment mettre en œuvre les grandes orientations qui viennent d'être définies ? Quelles entrées opérationnelles privilégier pour permettre aux différents acteurs concernés par l'aménagement et le développement des espaces ruraux de conforter leurs réflexions et d'agir ?

L'objectif, là encore, n'est ni de procéder à un tour d'horizon des méthodes en cours d'émergence ni de souligner une méthode particulière. Il s'agit plutôt de s'appliquer à découvrir les articulations, les cheminements, les stratégies permettant aux communautés paysannes, aux agents économiques ainsi qu'aux Etats et à leurs services d'agir de façon conjointe et complémentaire. On peut ainsi identifier plusieurs niveaux d'analyse.

La part du local *

En réaction à la centralisation des pouvoirs de décision à l'échelon national, les régions (grandes ou petites) deviennent le point d'appui privilégié des actions de développement et d'aménagement. Ce sont en effet des espaces dans lesquels les populations se reconnaissent, qu'elles façonnent à leur image et où elles peuvent faire émerger et maîtriser des projets d'avenir suffisamment construits pour être reconnus par les pouvoirs publics.

A ce niveau, la gestion des espaces ruraux est souvent abordée par la double entrée de l'espace et de la protection/régénération des ressources naturelles.

Les méthodes d'aménagement se formulent alors en termes d'ouvrages antiérosifs, de restauration des sols dégradés, de régénération du couvert arboré et herbacé, de mise en défens et de contrôle de l'exploitation des ressources naturelles, etc.

A cette approche, nous préférons celle qui part de l'expression des besoins de la population dans tous les secteurs, à partir d'une analyse de ses problèmes, atouts et potentialités, pour définir en concertation les solutions à mettre en œuvre et leur ordre de priorité (figure 1).

Pour répondre aux besoins ainsi identifiés, sont disponibles au plan local des ressources foncières, végétales, animales, humaines et financières qui, le plus souvent, ne sont pas suffisantes. Apparaît un écart qu'il s'agit de combler.

Des ressources extérieures sont alors nécessaires, mais il importe surtout de parvenir à une meilleure utilisation des ressources locales, plus équilibrée, soucieuse de leur exploitation optimale pour permettre leur reproduction, leur régénération si elles sont fragiles, et favoriser leur protection si elles ne supportent plus aucune exploitation.

Une utilisation différenciée des ressources naturelles, suivant leur état, à laquelle s'ajoutent des mesures agronomiques (intensification des productions), économiques (valorisation des produits et contrôle de la commercialisation), socio-culturelles (changement des comportements et attitudes) et d'organisation du groupe social (contrôle de l'utilisation des ressources, sanctions éventuelles) peuvent ensemble favoriser une démarche maîtrisée d'aménagement de l'espace et de gestion contrôlée des terroirs.

* En collaboration avec le CIEPAC.

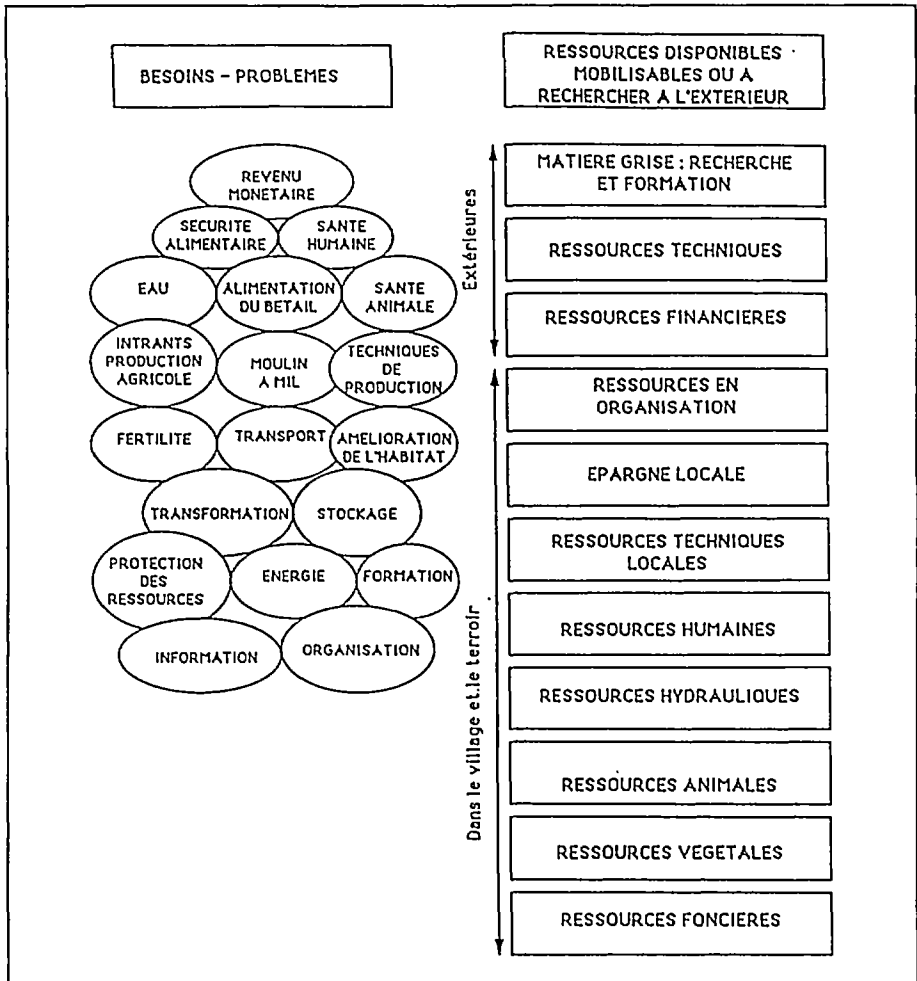


Figure 1. Approche en termes de besoins et de ressources disponibles au plan local.

Dans ce cadre d'intervention, on peut alors distinguer plusieurs phases.

■ Phase d'analyse et de diagnostic de la situation

- Identification des problèmes et des besoins
 - Au plan technique, économique et social (fonctionnement des exploitations, activités en amont et en aval de la production, conditions de vie).
 - Au plan agro-sylvo-hydro-pastoral (besoins en matière de régénération, protection, diversification des ressources naturelles).
- Identification des ressources (exploitées et potentielles) dont dispose le village dans tous les domaines, et de leur état :
 - humaines (état de santé et qualité/quantité de l'alimentation) ;
 - techniques ;
 - financières ;
 - organisationnelles ;
 - pastorales ;
 - naturelles (état de dégradation ou de conservation, exploitation dont elles sont l'objet).

● Mesure des écarts entre les ressources exploitées et les besoins, afin d'identifier les objectifs que le développement doit se fixer pour parvenir non seulement à la satisfaction simple des besoins, mais à la production de surplus et à l'accumulation de réserves (figure 2).

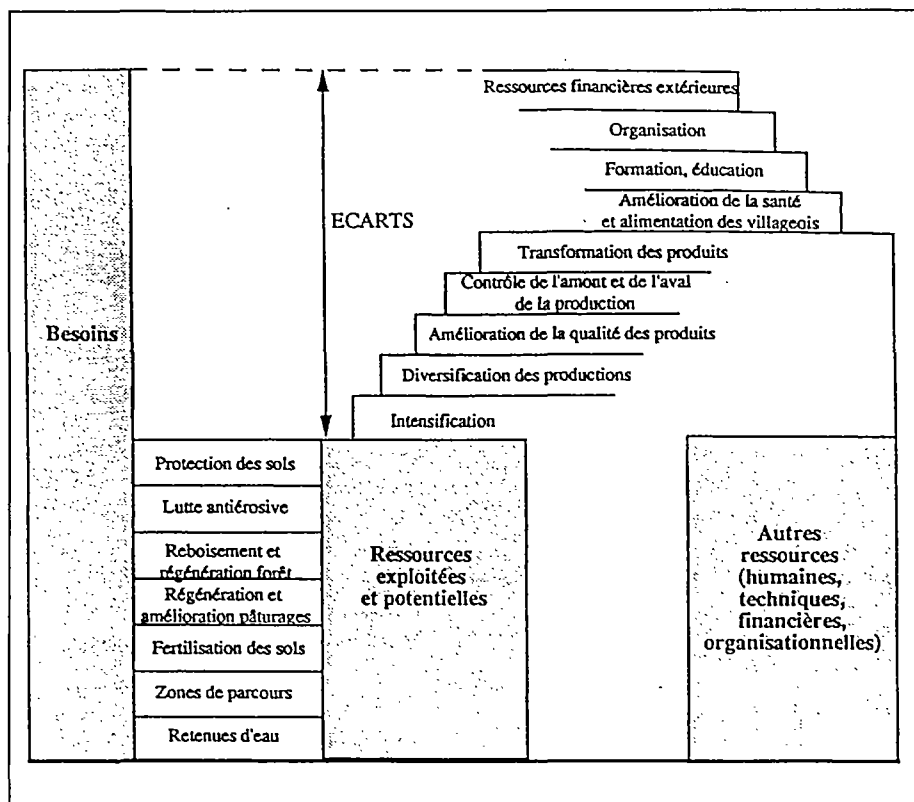


Figure 2. Mesure des écarts entre les ressources exploitées et potentielles et les besoins.

L'écart entre les ressources naturelles exploitées ou bien disponibles et les besoins du village est dû le plus souvent aux facteurs suivants :

- accroissement démographique, accroissement des troupeaux ;
- exode et émigration des jeunes et des adultes ;
- sécheresses successives et calamités diverses (sauterelles) ;
- extension non contrôlée des surfaces cultivées entraînant le défrichage de zones sensibles, la baisse de fertilité et l'érosion des sols ;
- surexploitation des ressources naturelles pour compenser la baisse des rendements et la stagnation ou régression des productions ;
- techniques inadaptées aux évolutions agro-écologiques ;
- absence d'incitations économiques organisées et durables (excepté celles, souvent provisoires, des projets).

■ Phase de recherche concertée de solutions

● Définition des orientations générales. Il s'agit de fixer les objectifs mobilisateurs à moyen et long terme, en fonction des besoins et problèmes identifiés, que ce soit dans les domaines économique, social ou technique ou dans le secteur agro-sylvo-pastoral.

Une attention toute particulière doit être portée à l'identification des relations réciproques (apports ou contraintes) entre développement et aménagement.

● Définition des actions à mener, dans les domaines technique, économique, social et agro-sylvo-hydro-pastoral pour combler l'écart entre ressources exploitées, autres ressources disponibles et besoins, tout en veillant à la reproduction des ressources naturelles.

● Identification des priorités et des urgences.

● Négociation-concertation entre les intéressés et avec les partenaires extérieurs pour définir le cadre général du développement et de l'aménagement et les actions précises susceptibles de réduire les écarts entre ressources et besoins, tout en respectant les exigences d'une reproduction élargie des ressources.

■ Phase de définition des actions

Amélioration des systèmes d'exploitation dans le sens d'une intensification	Création, amélioration des services en amont et en aval de la production
<p>Ce sont, par exemple, les actions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • association de l'élevage à l'agriculture, • introduction de la culture attelée, • fertilisation des sols, cultures associées, • agroforesterie, • utilisation de semences améliorées, • traitement phytosanitaire, • diversification des cultures, • etc. 	<p>Ce sont, par exemple, les actions suivantes :</p> <p><i>en amont</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • production accrue de fumier, au sein des UP • système d'approvisionnement en outils, semences, produits phytosanitaires, • dressage d'animaux de traction, • production fourragère et sous-produits, • crédit de campagne et d'équipement, • retenue d'eau pour l'abreuvement du bétail, cultures irriguées de contre-saison. <p><i>en aval</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • réparation et entretien du matériel agricole, • transport des récoltes, • lieux de stockage, • transformation des produits, • banque de céréales.
Amélioration des conditions de vie	Aménagement de l'espace et gestion des ressources naturelles
<p>Ce sont, par exemple, les actions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • disponibilité en eau pour les villageois, • stockage des produits alimentaires, • amélioration des techniques d'alimentation, • économie d'énergie, • santé, • maternité, • assainissement, • amélioration de l'habitat, • artisanat de production, • etc. 	<p>Ce sont, par exemple, les actions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • lutte antiérosive et aménagement de bassin versant, • reboisement, • protection et régénération des forêts, • délimitation des parcours et pâturages, • pare-feu, • recharge de la nappe par création de retenues, • récupération des zones dégradées.

Exemples de relations possibles entre activités de développement et d'aménagement.

Actions à dominante technique, économique et sociale (développement)	Actions à dominante gestion des ressources naturelles et aménagement (aménagement)
Association de l'élevage à l'agriculture.	Amélioration de pâturages, plantation d'arbres fourragers, délimitation des zones de culture et de pâturage.
Introduction de la culture attelée.	Lutte antiérosive, recensement des réserves fourragères (amélioration de pâturages...).
Création d'une retenue d'eau.	Plantation d'arbres résistant à l'humidité et aux inondations ; productions fourragères en remplacement de celles qui seront inondées ; délimitation des voies d'accès à l'eau pour les troupeaux.
Amélioration de l'habitat.	Consommation accrue de bois ; exploitation de carrières d'argile et de pierre ; besoins accrus en eau.
Economies d'énergie et techniques de combustion alternatives ; nouvelles techniques de construction de l'habitat moins consommatrices de bois ; valorisation des résidus de récolte et production de fourrage...	Protection et régénération des forêts.
Acquisition d'outillage, de moyens de transport ; modification des techniques culturales et intensification des systèmes de production ; meilleure intégration du bétail dans l'exploitation.	Lutte antiérosive.
Construction d'une retenue ; valorisation de l'eau stockée par les cultures de contre-saison et l'abreuvement du bétail.	Recharge de la nappe phréatique pour réalimenter les puits.

■ Phase de planification et de réalisation

Les actions à réaliser doivent s'organiser suivant la logique des agriculteurs, en tenant compte de leurs hiérarchies, de leurs façons de comprendre et d'aménager leur espace.

Pédagogiquement, il n'est pas souhaitable de tout définir a priori. Il est préférable de définir les orientations générales et les objectifs à atteindre à partir du diagnostic de la situation : ces éléments constitueront le cadre général. Dans ce cadre général, on peut alors identifier toutes les actions qu'il serait souhaitable/nécessaire et possible de mener, et élaborer de façon détaillée quelques-unes d'entre elles. Les autres actions seront définies progressivement.

La part de l'Etat et de la ville

La démarche de développement/aménagement, quand elle passe des villages ou des régions à la dimension des vastes territoires, découpés en Etats et contrôlés par des villes, doit tenir compte de deux facteurs essentiels :

- la multiplication des situations locales et l'obligation de s'adapter à la diversité et la complexité de chacune d'elles ;

- des niveaux d'organisation supérieurs qui structurent ces territoires : les villes petites ou grandes, les Etats et les organismes internationaux, etc.

Ainsi, tout en restant dans le cadre des préoccupations évoquées précédemment, il importe de :

- comprendre comment s'organisent et évoluent les unités "hommes-milieu" qui composent ces vastes territoires, en termes de potentialités agro-écologiques et de relations ville-campagne, et également en fonction du comportement des sociétés qui les contrôlent, de leurs marges d'initiative et de leur capacité à prendre des risques ;

- définir des stratégies d'intervention, de production et d'utilisation de l'espace qui soient différentes des schémas classiques de développement et d'aménagement mis en œuvre presque à l'insu des villageois, et accroître la capacité des collectivités locales ou régionales à se prendre en main, de renforcer leur degré d'organisation, mobiliser leurs compétences pour assurer leur propre développement et aménager leur territoire. Cela suppose évidemment d'importantes modifications dans le jeu des acteurs, notamment l'Etat.

■ Phase d'analyse-diagnostic des situations rurales

☐ Identification des potentialités : mise en évidence des écarts entre régions

Si l'espace est divers, on peut y distinguer des ensembles homogènes qui ont les mêmes difficultés et les mêmes logiques de développement. C'est un travail classique de zonage où l'on croise critères et territoires.

Aux critères concernant les ressources naturelles (eau, sol, plante) il faut ajouter les techniques d'exploitation de l'espace et les transports. Ils conditionnent les relations qui se nouent entre les agents économiques, les productions et leur destination, l'accumulation du capital, des hommes et du savoir. Quand les transports sont mauvais, l'essentiel de la production doit être consommé sur place (autarcie). Quand ils sont bons, les liens entre l'homme et le milieu physique se détendent tant en ce qui concerne les aliments, les produits, les savoirs et les techniques que l'énergie. La géographie des densités cesse de dépendre de la répartition des ressources exploitées : les villes et les bourgs marchands peuvent apparaître. Ils se situent d'ailleurs le long des voies de communication et plus généralement là où elles se croisent.

Ainsi apparaissent des espaces différents et inégaux qui se juxtaposent autant qu'ils se pénètrent et se hiérarchisent. Ce sont essentiellement deux types de régions.

D'une part, on observe des régions d'activité intense, bien équipées et intégrées à une série de villes situées sur un axe de communication important. Elles sont souvent en prise directe avec l'extérieur, qui fournit sur le marché mondial des denrées à un prix bien inférieur par rapport à celles qui sont produites sur place. Leur problème est d'exporter les surplus qu'elles produisent.

D'autre part, on distingue des régions plus ou moins marginales qui sont de moins en moins capables de fournir aux masses rurales la nourriture et le milieu auxquels elles aspirent. Les petites villes sont dans la même situation.

La géographie, l'économie et la société prennent alors un caractère dual : aux zones intégrées où se concentrent les hommes, les biens, les infrastructures s'opposent les zones marginales défavorisées et à fortes contraintes.

☐ Identification des dynamiques en cours

En simplifiant à l'extrême, les dynamiques en cours résultent de l'articulation entre deux logiques :

- une logique de concentration urbaine et de marginalisation des zones fragiles liée à l'économie marchande et au secteur moderne ; cette logique est en relation avec les échanges internationaux de blés et de capitaux ; c'est notamment le cas pour l'aide alimentaire et l'achat de céréales aux cours mondiaux bien inférieurs aux coûts de la production locale ;

- une logique de développement local, de restructuration par les ruraux des espaces qu'ils occupent et qu'ils gèrent.

Ces deux logiques donnent une lecture à la fois simple et dynamique de l'espace. Au secteur moderne et urbanisé s'opposent les zones du vide (désert et périphérie immédiate). Entre les deux existe toute une gamme de situations mixtes plus ou moins intégrées, plus ou moins résistantes ou en cours de marginalisation.

Ce schéma d'ensemble est actuellement soumis à d'importantes distorsions du fait du désengagement des Etats. Il est important d'en mesurer les effets régionaux, notamment en termes de processus de marginalisation, de résistance ou de reconstruction ainsi qu'à travers les stratégies des Etats à l'égard des producteurs.

- Les processus de marginalisation. Abandon des terres de moins en moins fertiles, exode rural, mauvais état des routes, fermeture de certains commerces, ou au contraire l'intégration à la ville : ouverture de marchés, pénétration d'objets manufacturés, consommation de céréales étrangères achetées au cours mondial (blé, riz, etc.).

- Les processus de résistance ou de reconstruction. Réinvestissement dans le secteur vivrier, appropriation de compétences en gestion des intrants ou en commercialisation des surplus locaux par les organisations professionnelles.

- Les stratégies d'appui par les Etats aux producteurs en matière de formation. Contrats villageois de développement et d'aménagement : il est important de savoir où et comment ils se réalisent et quels sont les acteurs qui les sous-tendent de concert avec l'Etat, et les organismes de financement internationaux.

■ Phase de recherche de solutions diversifiées

□ Définition des orientations générales

Elles doivent permettre de réguler les interactions entre l'Etat et les collectivités locales en favorisant l'articulation entre des dynamiques d'origine différente.

D'une part se développent des mouvements ascendants d'initiatives locales portés par des dynamiques sociales endogènes, qui recourent aux pouvoirs publics, aux dispositifs institutionnels pour se faire reconnaître, pour démontrer leur efficacité, et des mouvements exogènes de procédures et d'incitations des pouvoirs publics qui cherchent à susciter et à encadrer les initiatives locales pour réaliser leurs objectifs.

Par ailleurs, on observe l'émergence de démarches locales globales, qui composent avec les logiques sectorielles dominantes et des actions "verticales", spécialisées (économiques agricoles et non agricoles, sociales, culturelles, etc.), qui s'ouvrent progressivement à une perspective globale territoriale.

Apparaissent également des mouvements régionaux forts qui possèdent un potentiel important et une gestion cohérente de leurs forces productives (force de travail, capital, information, ressources) et des régions marginales qui risquent de le devenir encore davantage.

□ Définition des actions à mener

En fonction des domaines :

- économique : accès au marché, organisation des filières, approvisionnement... ;
- technique, ainsi que la formation des cadres et des ruraux, pour créer des

conditions d'intervention capables d'aider les villageois à se prendre en main et les amener à trouver des solutions locales aux problèmes qu'ils rencontrent) ;

- organisationnel, pour accroître la capacité des sociétés rurales à se prendre en charge, renforcer les niveaux d'organisation (villageoise, intervillageoise, régionale et internationale), rechercher les moyens pour appuyer le développement local ;

- écologique, pour préserver les ressources naturelles tout en les mettant en valeur.

Construire un espace répondant aux besoins des populations

La gestion des espaces ruraux, c'est-à-dire leur construction ou leur abandon, ne se laisse pas enfermer dans une systématisation rigoureuse. Elle apparaît plutôt comme un enchevêtrement d'ajustements successifs, d'impulsions, de démarches, d'interactions entre une multiplicité d'acteurs dont les intérêts sont plus ou moins convergents ou au contraire sources de conflits. Retenons comme acteurs principaux l'Etat, les collectivités locales et les organisations professionnelles.

Dans un contexte économique et écologique instable propre au Sahel, ces acteurs élaborent des stratégies de sécurisation : ici lucides et délibérées, là comme instinctives et portées par l'expérience. Suivant la nature et l'état (dégradé, préservé ou amélioré) des potentiels locaux et la qualité de la gestion des grandes forces productives que sont le travail, le capital, l'information et les ressources, ces acteurs produisent des espaces très différents qui peuvent être :

- dominants, avec des centres gérant leur périphérie, que ce soit une ville et sa banlieue ou un village et ses champs... ;

- marginaux, isolés et en voie de décapitalisation ;

- en attente, c'est-à-dire se reproduisant sans accumuler, ni décapitaliser.

Il importe de bien identifier ces espaces, comprendre les relations entre acteurs et évaluer les forces en présence pour y intervenir à bon escient. Les méthodes de connaissance et d'intervention évoluent d'ailleurs : technocratiques à une époque, participatives actuellement, elles montrent à quel point les relations changent mais l'essentiel demeure : l'espace à construire pour répondre aux besoins des populations qui y habitent.

Techniques de lutte contre l'érosion et la désertification

René Marceau Rochette

**Avec la collaboration
de Marie Monimart**

Table des matières

Les techniques disponibles	291
Fixation des dunes et des sables	291
Rigoles, ravines et oueds	293
Les techniques mécaniques de conservation de l'eau et du sol	295
Les techniques biologiques de conservation de l'eau et du sol	303
La disponibilité sociale des techniques de lutte	304
Techniques manuelles et techniques motorisées	305
Organisation collective du travail	306
Aménagement des terres agricoles et sylvo-pastorales	307
Travail, alimentation et revenu	308
Les femmes et la lutte contre la désertification	309
Pour une approche villageoise de la gestion du terroir	312
Bibliographie	313

Le Sahel a été contraint à s'engager résolument dans la lutte contre l'érosion et contre la désertification à partir de la fin des années 70. Les actions pragmatiques, la recherche et la recherche-développement ont peu à peu combiné leurs efforts pour donner des résultats aujourd'hui probants et adaptables, sinon déjà adaptés, à la plupart des écosystèmes sahéliens. Ils sont suffisants pour engager dans tout le Sahel des opérations tournées vers un développement rural durable, génératrices de nouveaux équilibres socio-écologiques. Ce constat initial ne signifie pas que tout effort de recherche et de recherche-développement est devenu inutile, bien au contraire, mais, pour être efficace et profitable, cet effort doit partir des acquis, en particulier de ce que savent et font déjà les exploitants, et des problèmes nouveaux qu'ils rencontrent.

En effet, l'expérience montre que l'insertion de ces pratiques nouvelles dans les systèmes de production se heurte encore à de nombreuses difficultés dont la solution suppose des innovations complémentaires ou nouvelles et des transformations portant sur les cadres sociaux, économiques et institutionnels. De ce point de vue, les techniques de lutte contre l'érosion et contre la désertification peuvent être présentées sous deux angles :

- celui de leur disponibilité technique : quelles sont les techniques qui existent au Sahel et à quels problèmes apportent-elles une solution ?
- celui de leur disponibilité sociale : les exploitants, individuellement ou collectivement, peuvent-ils prendre en main les techniques proposées et les développer à leur initiative ?

Les techniques disponibles

Schématiquement, la lutte pour conserver l'eau et le sol (CES) et pour améliorer leurs potentialités productives fait appel à deux séries de techniques :

- les unes sont "mécaniques" et conduisent à un aménagement physique de l'espace ;
- les autres sont "biologiques" et consistent en un aménagement végétal de l'espace.

Bien entendu, la combinaison des deux est toujours indispensable car elles sont complémentaires : les techniques mécaniques ont des effets immédiats ou à court terme mais les ouvrages doivent être entretenus et parfois renouvelés ; les techniques biologiques ont une efficacité différée à court ou moyen terme mais elles sont durables, vivantes et productives.

Le Sahel, "rivage du désert", subit tout à la fois l'érosion anthropique, éolienne et hydrique :

- dans les zones saharienne et présaharienne et sur les côtes ouest, les sables se sont remis en mouvement de manière généralisée, obligeant, au Sahel, à entreprendre des actions de fixation des dunes ;
- dans le Sahel proprement dit, l'eau est le principal agent d'érosion : la lutte est centrée sur l'approche "aménagement du bassin versant", qui vise à maîtriser la circulation de l'eau dans les lits d'écoulement et sur les versants, ce qui implique une progression d'amont en aval.

Fixation des dunes et des sables

Les principes techniques de la fixation des dunes sont connus : des barrières de claies permettent d'abord de casser et de stopper provisoirement le mouvement des sables ; on en profite pour planter des arbres dont la croissance entraînera une

fixation durable. Le Sahel n'avait pas d'expérience en la matière, contrairement à ses voisins sahariens et nord-sahariens ; certains problèmes se sont posés et n'ont pas tous été résolus.

■ Les claies

Les claies sont le plus souvent faites en matériel végétal : nguer au Sénégal (*Guiera senegalensis*), *Leptadenia pyrotechnica* en Mauritanie (ou, à défaut, tiges et feuilles de palmiers, *Euphorbia balsamifera*...), tiges de mil et de sorgho au Mali, au Burkina Faso et au Niger. Or, souvent, ces produits sont rares, éloignés (coûts de transport) et utilisés à d'autres fins (construction, fourrage et combustible pour les tiges de mil et de sorgho, qui ont une valeur marchande croissante). Les projets de fixation des dunes côtières du Sénégal ont utilisé avec succès des panneaux de grille (toile) synthétique mais leur emploi est cinq fois plus onéreux que celui des panneaux de nguer. Dans ces conditions, est-il utopique de chercher à produire des végétaux locaux du type nguer ou *Leptadenia pyrotechnica* pour fabriquer des claies et peut-on les produire au plus près des zones dunaires à fixer ?

■ Les arbres

La plantation de filao a durablement fixé les dunes côtières des Niayes ; ce succès est en partie dû au fait que la reprise et la croissance des arbres ont été facilitées par l'adjonction de nodules de bactéries (*Rhizobium*) aux jeunes plants ; cette technique améliore leur capacité d'absorption de l'azote de l'air. Elle a été développée par le laboratoire ORSTOM de Dakar et mériterait une large utilisation au Sahel, en particulier pour protéger contre l'ensablement les grands lacs intérieurs par des plantations de filao ou *Tamarix*, *Prosopis*....

Le Projet de lutte contre l'ensablement et de mise en valeur agro-sylvo-pastorale en Mauritanie a mis au point des techniques de pépinière et de plantation dans les sables qui méritent d'être diffusées dans toutes les zones de dunes vives du Sahel :

- la pépinière, suspendue et sans toit d'ombrage, permet de produire de grands plants dont le houppier sera à l'abri de la zone de bombardement maximale par les sables après la plantation ;
- la plantation est faite en profondeur de juillet à avril et ne demande pas d'arrosage en saison sèche car elle utilise l'humidité profonde des sables résultant de l'hivernage et/ou d'un arrosage au moment de la plantation (figure 1).

■ Les barkhanes

Très mobiles, les barkhanes sont difficiles à fixer et dangereuses pour les routes, les oasis et les lieux habités. Connues ailleurs, les techniques de la contredune d'arrêt et de déviation ont été expérimentées avec succès en Mauritanie et pourraient être utilisées plus largement au Sahel.

■ La lutte contre la remise en mouvement ponctuelle des sables

Ce problème se pose dans les anciens ergs et cordons dunaires du Sahel, hier fixés et aujourd'hui dénudés, et partiellement remis en activité. La tentation a été de les traiter comme les dunes sahariennes, mais l'expérience montre qu'une simple mise en défens suffit généralement à permettre la repousse des herbes.

Ici, une difficulté est souvent mal prise en compte. La zone d'accumulation des sables éoliens est nourrie par une zone d'alimentation et on ne peut pas protéger la première sans fixer les sables de la seconde (mise en défens ou technique plus lourde si besoin). Il y a donc lieu de considérer la dynamique du transport éolien comme celle du transport par l'eau.

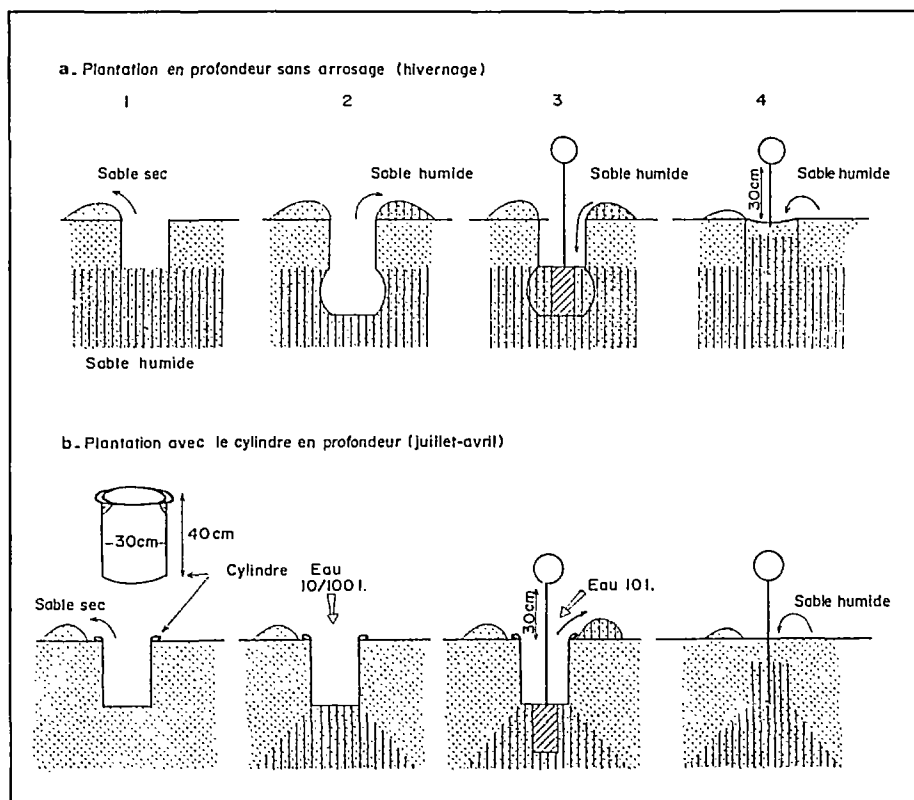


Figure 1. Plantation en profondeur dans les sables (Mauritanie).

Rigoles, ravines et oueds

L'objectif est de stabiliser les drains d'écoulement en arrêtant l'érosion latérale, verticale et remontante dans leurs lits.

Le principe est de créer un obstacle en travers du courant pour l'obliger à ralentir, mais sans chercher à stocker l'eau en surface. Le ralentissement a les effets suivants : diminution et arrêt de l'érosion, infiltration accrue de l'eau dans le sol, dépôt des sédiments transportés et gains de terre limités mais précieux.

Les techniques sont adaptées à la dimension des lits à traiter.

- Les barrières ou digues de pierres sèches, perpendiculaires au courant, permettent de stabiliser les rigoles et les petites ravines (figure 2). Des barrières de fascines de tiges de mil ou de branches retenues par des piquets de bois ont le même effet ; elles sont plus faciles à construire avec des matériaux immédiatement disponibles mais elles sont plus fragiles et doivent être fréquemment refaites.

- La digue de stabilisation est un ouvrage plus complexe pour traiter une grosse ravine. Construite en pierres sèches, elle est ancrée dans le lit et les berges de la ravine ; elle comprend un déversoir et un bassin d'amortissement pour laisser passer les eaux des grosses crues (figure 3).

- Le barrage-seuil en gabions ou pierres maçonnées est un ouvrage plus lourd pour traiter un oued : il est plus épais et mieux ancré dans le lit et surtout dans

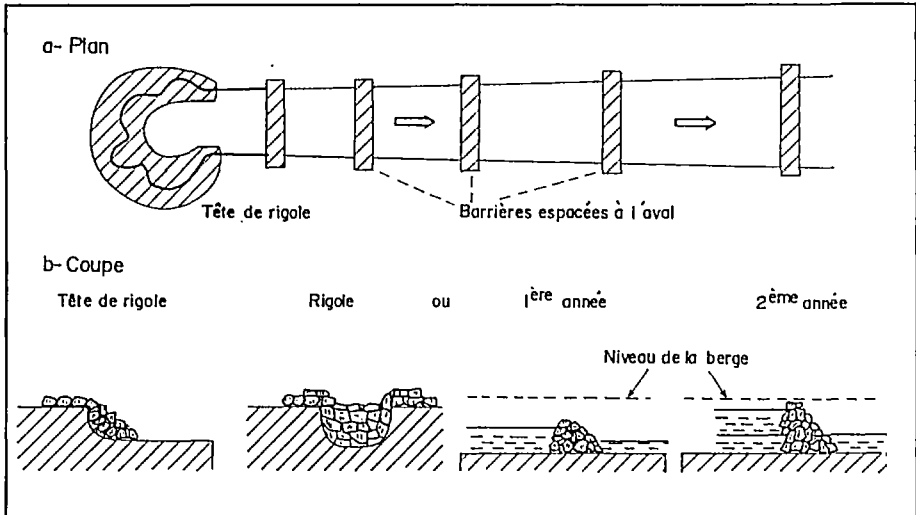


Figure 2. Digue ou barrière de traitement d'une rigole.

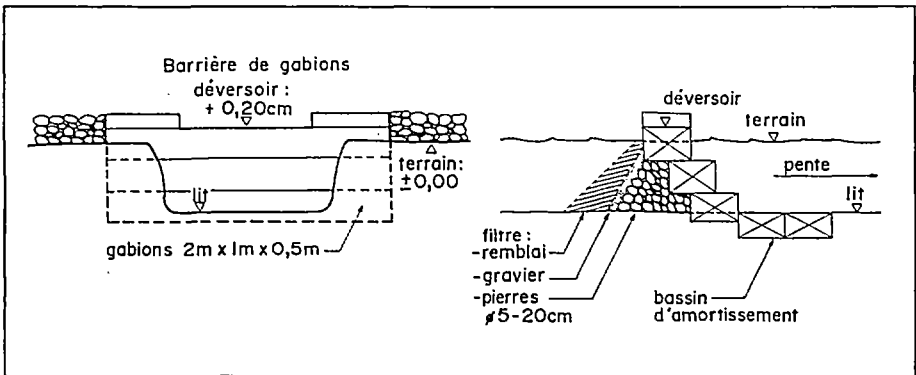


Figure 3. Digue de stabilisation d'une ravine.

les berges ; son bassin d'amortissement est nettement plus grand (gabions prolongés par un lit de grosses pierres). Quand l'oued est puissant, les berges amont et aval doivent être protégées par des digues longitudinales en pierres sèches ou gabions pour éviter le contournement du barrage par l'oued ; contre ce risque, il faut aussi prolonger le barrage-seuil par des ailes (digués de pierres sèches) perpendiculaires à la pente.

- Les épis et digues de protection des berges sont le premier moyen de stabilisation d'un oued à lit trop large pour être traité à des coûts acceptables par des barrages-seuils efficaces (figure 4).

Tous ces ouvrages doivent être suivis et éventuellement renforcés. Ils ont pour effet de stabiliser les lits et de contribuer à la recharge annuelle des nappes phréatiques ; mais ils ne suffisent pas à stopper l'érosion sur les versants. Si celle-ci se poursuit, elle peut rendre ces ouvrages progressivement inutiles.

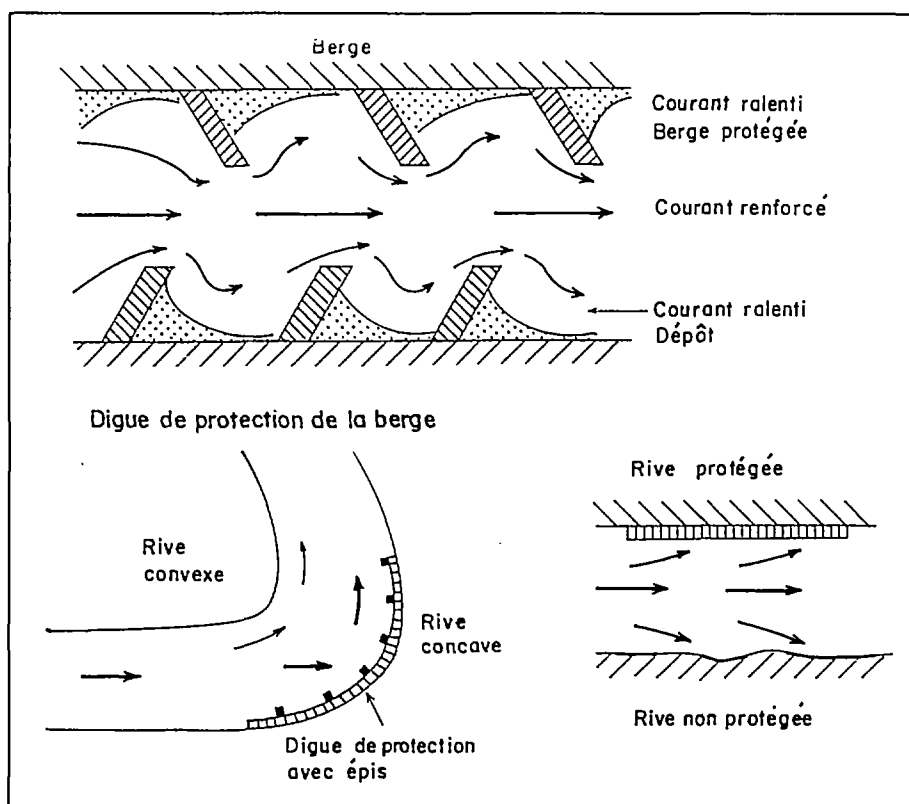


Figure 4. L'épi et la digue de protection de berge.

Les techniques mécaniques de conservation de l'eau et du sol

Le Sahel a connu un extraordinaire foisonnement de techniques de conservation de l'eau et du sol ; aux actions pragmatiques se sont bientôt ajoutées des opérations de recherche et de recherche-développement qui ont permis d'affiner et d'harmoniser les techniques et de rationaliser les choix bien que beaucoup de progrès restent à faire encore dans ce domaine. Toutes ces techniques ont pour but commun d'augmenter la rétention de l'eau dans le sol et de stopper l'érosion du sol ou de faciliter sa reconstitution. Chacune est adaptée à des situations agro-écologiques et topographiques particulières.

■ Diguette antiérosive

Cette technique est connue depuis fort longtemps, même au Sahel où il existait des variantes traditionnelles. Son principe est simple : briser le ruissellement de l'eau de pluie sur le sol par des obstacles successifs construits selon les courbes de niveau.

Un progrès technique essentiel a été réalisé avec la mise au point du niveau à eau qui permet un lever facile des courbes de niveau sans recourir aux topographes.

Le "niveau de maçon" sur un bâti en bois est également pratique mais ne rencontre pas le même succès.

L'obstacle (diguette) est de faible ampleur : 20 à 60 cm selon les cas et la pente. C'est la hauteur de l'obstacle qui commande la distance entre deux diguettes ; plus cette distance est grande, moins il faut de travail pour aménager un hectare mais, si elle est trop grande, l'érosion persiste entre deux diguettes (figure 5).

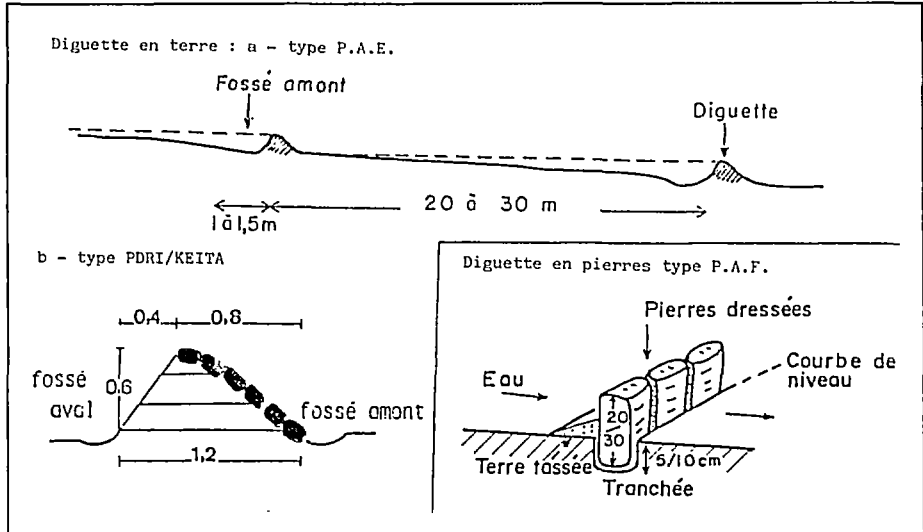


Figure 5. La diguette en terre et la diguette en pierres.

La diguette peut être en terre prise sur place ou en pierres rapportées : la première est imperméable alors que la seconde est perméable ou filtrante. Elle a un fossé à l'amont et à l'aval (pour la diguette en terre) ou seulement à l'aval (diguette en pierres). Trois précautions techniques sont indispensables :

- le sommet de la diguette doit être le plus plan possible pour éviter la formation de rigoles aux points bas ;
- lorsque la diguette est longue, le poids de l'eau qu'elle retient peut la faire céder ; ce risque est évité par la construction de petits déversoirs en pierres à intervalles réguliers (figure 6) ;

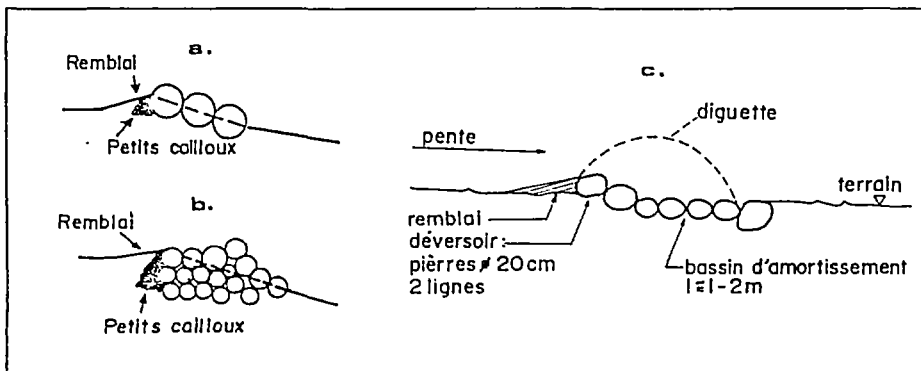


Figure 6. Types de déversoir d'une diguette.

- l'eau retenue peut déborder aux deux extrémités de la diguette et ouvrir des rigoles d'érosion ; ce risque est limité par la construction de deux ailes prolongeant la diguette par un angle de plus de 90 degrés.

Les avantages respectifs de la diguette en terre ou en pierres sont encore discutés mais des tests scientifiques ont été faits et autorisent quelques conclusions :

- la terre est prise sur le champ alors que les pierres doivent être collectées et transportées, ce qui exige plus de travail et de moyens (brouettes, charrettes) ; imposée par l'absence de pierres, la diguette en terre demande un travail supplémentaire lourd et peu efficace de damage ; en termes de travail, l'avantage de la diguette en terre n'est pas toujours évident ;

- la diguette en pierres est beaucoup plus résistante aux attaques de l'eau et au piétinement par les animaux et par les hommes ; les diguettes en terre demandent donc beaucoup d'entretien annuel et certains projets ont dû finalement recouvrir leurs ados avec des pierres ; en fait, seule la végétalisation assure la durabilité de la diguette en terre ;

- perméable ou filtrante, la diguette en pierres permet une meilleure répartition de l'eau de l'amont à l'aval du champ : des mesures de l'ORSTOM à Bidi (Burkina Faso) ont montré que la variation amont-aval de l'humidité est limitée à 20-30 % contre 50 % et plus avec des diguettes en terre. L'inconvénient de ces dernières peut être réduit par l'introduction de déversoirs en quinconce, indispensables en zone plus humide et pour des cultures qui craignent l'excès d'eau comme le coton. Inversement, l'imperméabilité devient un avantage en zone très sèche.

La collecte et l'évacuation des eaux éventuellement excédentaires à l'amont des champs à traiter est souvent nécessaire en zone cotonnière plus humide, mais il faut alors régler les problèmes posés par le drain d'évacuation. Le cas peut se produire au Sahel lorsque de grands versants amont fournissent d'importantes quantités d'eau de ruissellement ; mais l'eau manque au Sahel et il est plus indiqué de bloquer ce ruissellement au pied du versant par un solide muret en pierres sèches et de répartir ses eaux à l'aval par un fossé d'arrêt et un système de diguettes avec déversoirs en quinconce.

L'effet des diguettes sur le rendement agricole est variable : il est maximal à l'aval des champs et avec une bonne répartition des pluies (jusqu'à plus 80 %) ; il est réduit à l'amont et en cas de mauvaise pluviométrie ; il peut être nul ou négatif en cas de très mauvaise année. Cela montre que, si la diguette a toujours une action antiérosive et généralement un effet d'amélioration de la productivité, elle ne supprime pas la nécessité de rechercher des variétés et des techniques culturales mieux adaptées pour résister aux longues séquences sèches.

■ Récupération des terres dégradées

De vastes surfaces de glakis et de tables gréseuses ou cuirassées sont totalement désertifiées ; leurs sols ne peuvent pas être reconquis naturellement par la végétation et les diguettes ne permettent qu'une reconstitution lente. Pour obtenir une remise en culture ou en végétation immédiate, ces sols doivent être scarifiés et labourés (pour la culture), ce qui implique le plus souvent le recours à des engins motorisés ; il y a cependant des techniques manuelles efficaces.

- La technique des zaï ou poches d'eau, traditionnelle dans le plateau mossi, a été relancée parce qu'elle est souple et efficace au plan individuel. La surface indurée est percée de trous de 10 à 20 cm de diamètre et 5 à 15 cm de profondeur ; ils sont disposés en ligne ou en quinconce selon les courbes de niveau (figure 7) ; ils reçoivent chacun une poignée de fumier et, au moment des semailles, des graines pour un pied de mil ou de sorgho. Cette technique d'exploitation immédiate de sols indurés peut être utilisée simultanément avec celle des diguettes, qui permet une reconstitution à moyen terme du sol.

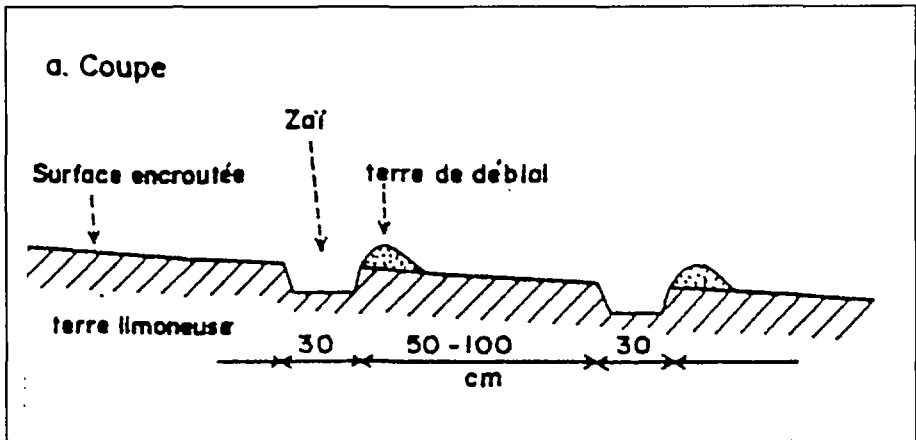


Figure 7. La technique des zaï.

- La technique des demi-lunes est bien connue ; c'est un élargissement et une rationalisation de celle des zaï. L'eau fournie par l'impluvium de la demi-lune est piégée par le creux qui sera semé ou planté et par les déblais disposés en demi-lune à l'aval (figure 8). Cette technique simple est très utile sur les terres dégradées à forte pente en zone sahélienne ; sur les terres de glaciais de la zone saharienne, elle permet une culture ou une plantation car elle équivaut à une irrigation complémentaire d'hivernage grâce à son impluvium.

Il existe diverses formes de demi-lunes adaptées aux situations locales et aux objectifs de reconquête du sol, en particulier pour les versants à forte pente et à sols squelettiques (ainsi la caldeira du Cap-Vert et la tranchée de Keita, figure 8).

- Des ouvrages continus le long des courbes de niveau sont basés sur le même principe : ce sont les murets (terrassettes) et les banquetas du Cap-Vert ; les fossés de ces dernières ont une faible pente (0,2-0,4 %) pour que l'eau vienne irriguer les arbres plantés à intervalle (figure 9).

- La banquette de Keita (Niger) est une technique beaucoup plus sophistiquée : disposée selon les courbes de niveau, chaque banquette enserre un espace scarifié, labouré et cultivé de 1 500 m² qui reçoit l'eau d'un impluvium inculte de 3 000 m² (figure 10). A Keita, cette technique est entièrement mise en œuvre avec des engins, à l'exception de l'empiècement manuel des diguettes ; techniquement, les résultats sont positifs et de grande dimension.

■ Lutte antiérosive et irrigation complémentaire d'hivernage

L'irrigation complémentaire d'hivernage est d'un grand intérêt pour le Sahel car elle permettrait de réduire les effets néfastes des longues séquences sèches. Elle peut être obtenue par arrosage ou irrigation classiques mais, dans le cas présent, il s'agit de l'obtenir par des systèmes conçus aussi pour lutter contre l'érosion. Cette démarche est encore peu avancée au Sahel, à l'exception de la digue filtrante qui connaît un développement rapide.

- La digue filtrante est née (au Sahel) accidentellement mais l'expérience et des tests scientifiques ont prouvé son intérêt majeur pour les fonds de vallée en cuvette du Sahel. La digue en pierres sèches est perpendiculaire à l'axe d'écoulement, a un sommet plan et barre tout le bas-fond : les ondes de crue sont écrêtées et déposent les sédiments transportés ; l'eau s'infiltre et la terre à l'amont (re)devient cultivable (figure 11).

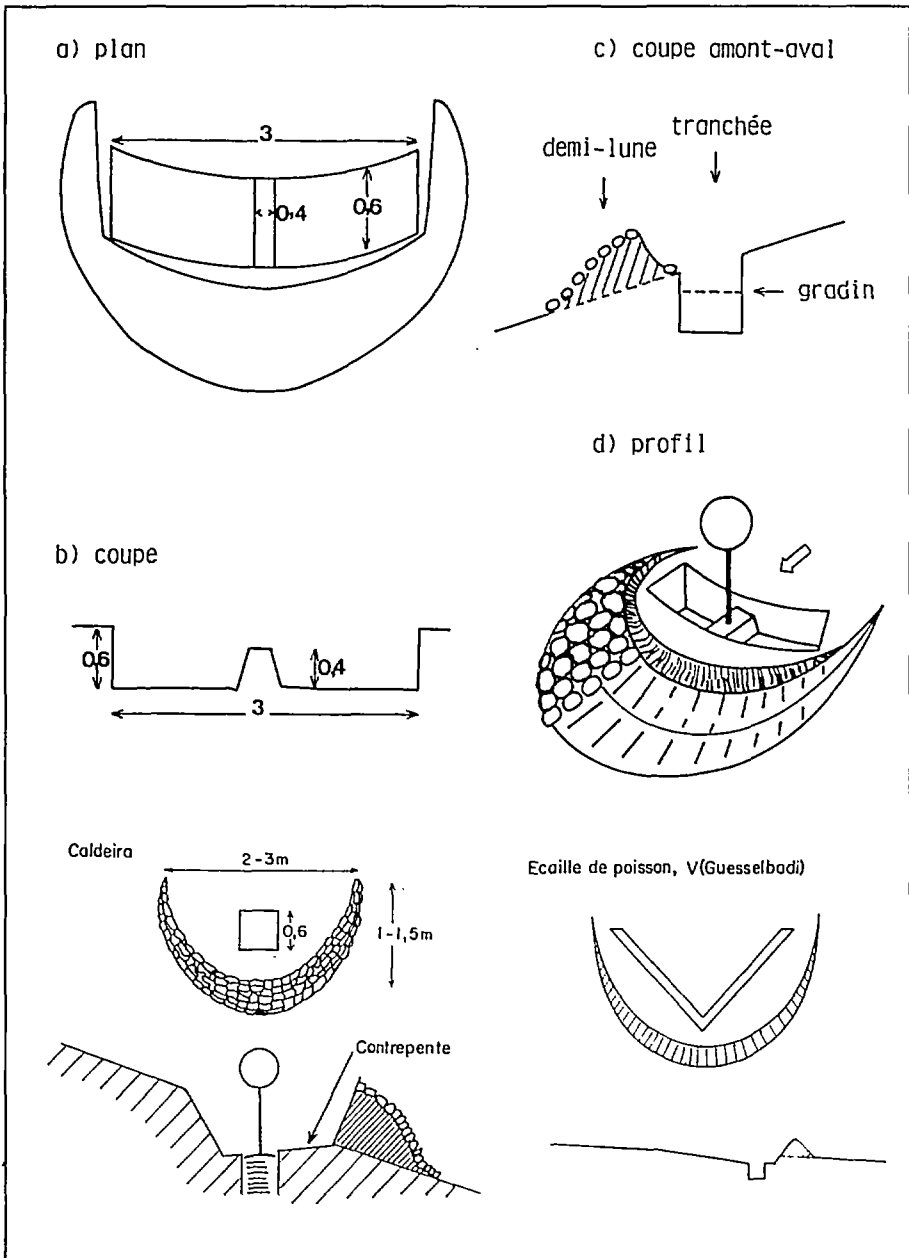


Figure 8. Types de demi-lunes.

La construction, très simple, peut devenir plus compliquée dans les bas-fonds trop larges ou fortement ravinés : il faut alors réaliser des déversoirs avec bassins d'amortissement et diguettes de protection à l'aval ou renforcer la digue par un ancrage dans le lit du bas-fond et par des gabions. Les ailes en pierres sèches d'un barrage-seuil jouent le rôle d'une digue filtrante. Enfin, l'efficacité et la durabilité des digues filtrantes sont conditionnées par le traitement de tout le bas-fond d'amont en aval et par l'aménagement antiérosif des versants.

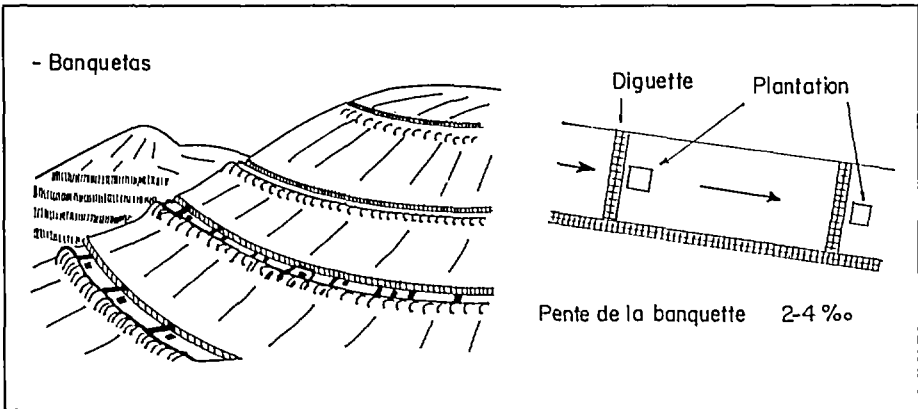


Figure 9. Les banquetas du Cap-Vert.

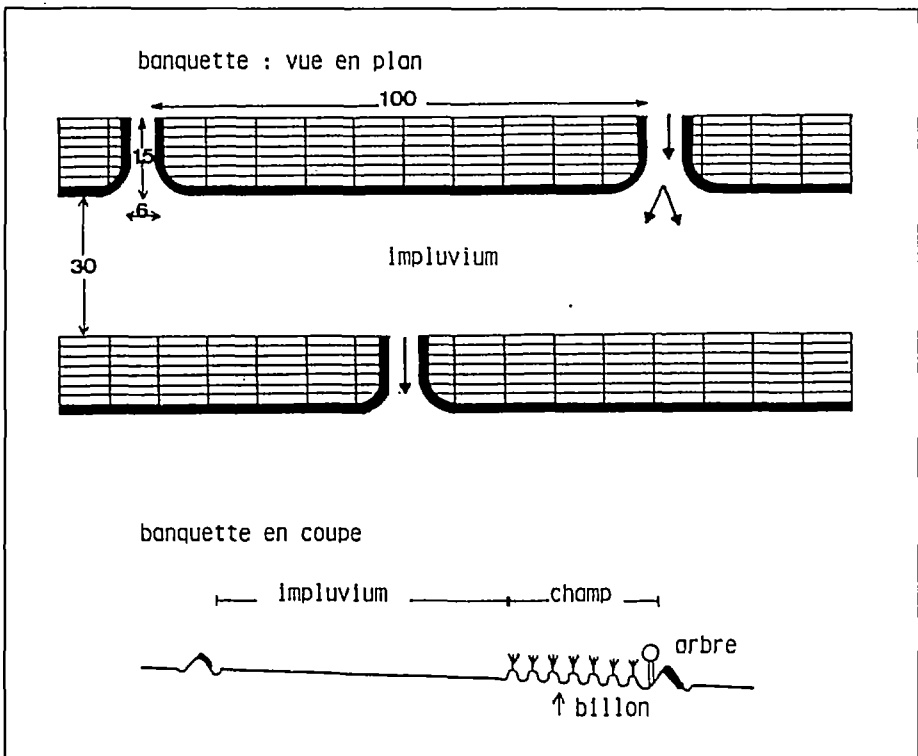


Figure 10. Les banquettes de Keita.

● Un système d'épandage des crues d'une ravine a été testé avec succès à Rounou (Bam, Burkina Faso) : il associe des digues de stabilisation et leurs ailes filtrantes avec des diguettes en pierres ou en terre et des déversoirs ; le système permet une répartition de l'eau de crue sur l'ensemble aménagé (figure 12). Ce système permet une irrigation complémentaire mais sans pouvoir en contrôler le moment.

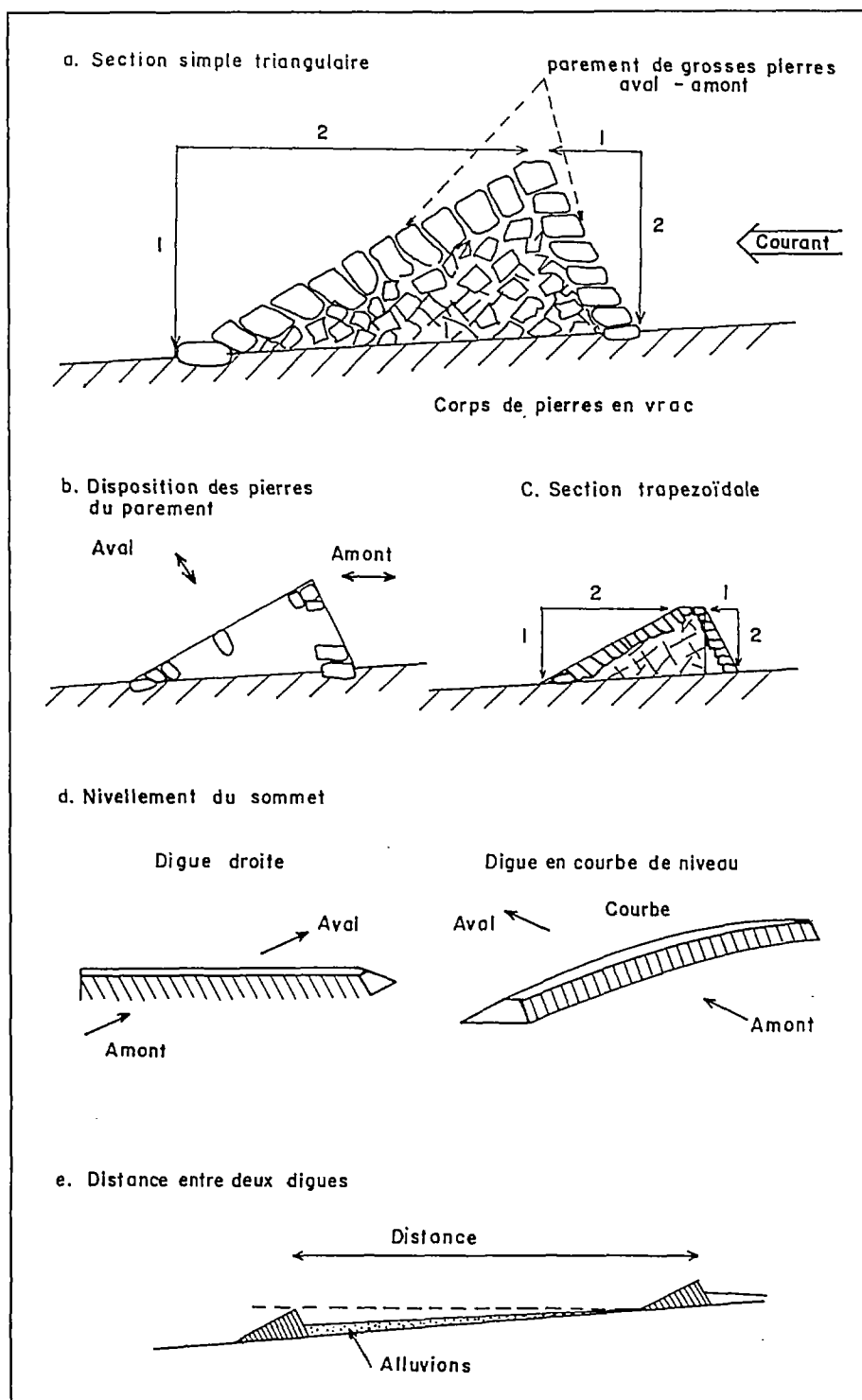


Figure 11. Caractéristiques de la digue filtrante.

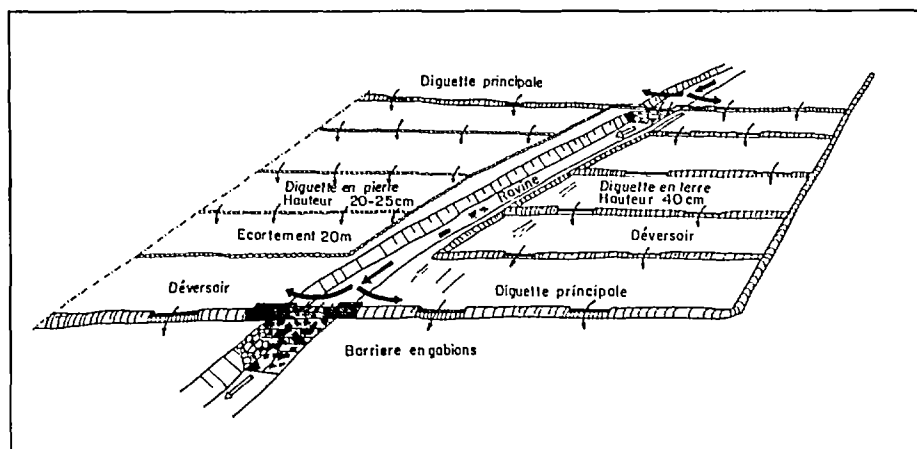


Figure 12. Système d'exploitation des crues d'une ravine.

Une autre expérience teste la collecte des eaux d'un glacis nu par de petits fossés dessinés selon les courbes de niveau et leur redistribution à des champs aménagés à l'aval avec diguettes et déversoirs.

■ Collecte, stockage et redistribution de l'eau

Pour les techniques qui suivent, l'objectif de collecte et de stockage de l'eau prime sur celui de la lutte contre l'érosion ; elles sont simplement citées ici.

La digue de culture de décrue est une technique ancienne du Sud mauritanien (Affolé et Assaba). Sur un glacis ou dans un bas-fond, une digue en terre est construite perpendiculairement à la pente et prolongée par des ailes pour former un bassin. Celui-ci stocke l'eau de ruissellement jusqu'à ce que son sol soit bien humidifié. La digue est alors rompue et le bassin vidé pour être mis en culture (sorgho). Cette technique a récemment été améliorée :

- l'adjonction d'un déversoir protège la digue contre les grosses crues et laisse passer l'eau pour les digues aval ;
- l'introduction d'un ouvrage de vidange permet de vider la digue sans la casser et de contrôler l'écoulement à l'aval.

Cette technique simple est très adaptée aux zones saharo-sahélienne et nord-sahélienne et mérite d'être vulgarisée. Elle ne doit pas être confondue avec la digue de culture de submersion depuis longtemps utilisée sur les bords du Niger, au Mali, pour mettre en rizière les gouttières et basses terrasses inondables ; cette technique a également été modernisée par l'adjonction d'un déversoir et d'un ouvrage de contrôle de l'entrée et de la sortie des eaux.

La collecte des eaux de ruissellement d'un petit bassin versant et leur stockage dans un bassin de régulation permettent d'irriguer un périmètre cultivé à l'aval pendant les séquences sèches de l'hivernage ; cette technique a été expérimentée au Mali et est très utilisée au Cap-Vert ; elle devrait être testée dans les zones de relief contrasté.

Au-delà, on en arrive aux techniques d'aménagement de bas-fonds et aux micro- et petits barrages ; elles ne relèvent pas de ce bilan, sauf à rappeler qu'elles doivent être mises en œuvre dans le cadre de l'aménagement de l'ensemble du bassin versant.

Les techniques biologiques de conservation de l'eau et du sol

Ces techniques sont à la fois antiérosives et directement productives. Inversement, elles consomment de la terre et ne produisent qu'à terme, ce qui introduit de nouvelles exigences de travail et de protection. Dans leur cas, les disponibilités technique et sociale ne sont guère séparables ; ceci contribue à expliquer la lenteur de leur diffusion au Sahel.

■ Régénération naturelle

Elle est obtenue par la technique de la mise en défens qui a déjà fait ses preuves mais dont la mise en œuvre est plus compliquée qu'il n'y paraît.

Pour assurer sa protection, barbelés, grillages et gardes publics ont montré leur inefficacité à terme. La plantation d'épineux, pour produire des branches et faire des haies mortes, n'a pas été entreprise systématiquement (les haies vives seront abordées plus loin). La gestion collective est une solution évidente mais encore peu expérimentée.

Ouvrir la mise en défens à une exploitation limitée et contrôlée facilite sa protection et son efficacité : cueillette des fruits et des feuilles, ramassage du bois mort et taille des arbres, ramassage du foin après la grenaison, passage des animaux transhumants ou locaux. Actuellement, on procède empiriquement car on ne peut guère donner de conseils sûrs ; il a été démontré que la taille des jeunes arbres est un facteur décisif de leur régénération, mais les services forestiers et de développement en ont encore peu tiré les leçons.

■ Régénération assistée

Elle a fait des progrès significatifs mais non suffisants.

La protection des jeunes pousses d'arbres dans les champs permet de reconstruire le parc à *Acacia albida* plus facilement que la plantation de plants élevés en pépinière ; cette technique a prouvé son efficacité mais est encore trop peu utilisée pour l'*albida* et pour d'autres espèces.

Le travail des terres dénudées (scarifiage, labour, demi-lunes...) facilite la régénération naturelle, qui peut être renforcée par des semis et plantations. Cette technique est aussi éprouvée mais, pour des raisons de coût en particulier, elle n'a concerné que de faibles surfaces et les formations forestières plus que les formations herbacées.

L'aménagement des forêts naturelles débute seulement ; des techniques d'enrichissement par semis et plantation ont été mises au point et quelques programmes d'exploitation rationnelle ont été mis en œuvre ; rares sont encore ceux qui, comme à Guesselbodi (Niger), donnent des résultats probants.

Par contre, le retard est presque total en matière de régénération assistée des pâturages ; il semble bien que, dans ce cas, cette technique ne puisse être développée que dans le cadre plus large de l'aménagement pastoral avec gestion des troupeaux, des points d'eau et des pâturages par les éleveurs.

■ Technique du brise-vent

Elle est maintenant bien connue même si elle pose encore des problèmes en ce qui concerne les espèces à planter et leur mode d'exploitation. Au Sénégal (centre-ouest), les brise-vent d'anacardiens ont fait leurs preuves comme ceux de neem et d'épineux au Niger (centre) ; les eucalyptus sont de plus en plus employés, en particulier comme brise-vent dans et autour des périmètres irrigués où la preuve

est faite qu'ils contribuent à accroître le rendement. Pour de nombreuses régions, il reste nécessaire de déterminer les arbres localement les plus efficaces et les plus aptes à répondre aux besoins des populations.

■ Haies vives

Elles sont d'un intérêt vital par leurs fonctions de protection, de délimitation et de production. Elles ont fait des progrès, en particulier avec les espèces qui fournissent aussi une production consommable (par exemple, le pois d'angole, le pourghère, le moringa). Cependant, la recherche s'est encore peu intéressée aux haies vives et aux espèces locales, épineuses ou non, qui pourraient être utilisées et répondre en même temps à des besoins locaux (en particulier à ceux exprimés par les femmes et par les artisans).

■ Agroforesterie

D'importants progrès ont été réalisés en matière forestière ; ils démontrent que la voie principale de la reconstitution du couvert arboré est l'agroforesterie individuelle : pépinières, bosquets et plantations de bordure de champ, petits vergers d'agrumes, de fruitiers sauvages et d'arbres médicinaux. Actuellement, la végétalisation des aménagements antiérosifs est un puissant moteur de développement de l'agroforesterie paysanne :

- l'enherbement des diguettes pour les stabiliser permet de réintroduire des herbes utiles qui avaient presque disparu (ainsi *Andropogon gayanus* ou *Pennisetum pedicellatum* dans le nord du Burkina Faso) ;
- la plantation d'arbres à l'amont ou à l'aval des diguettes (et parfois entre elles) bénéficie de plus en plus aux espèces locales souhaitées par les populations ;
- à l'exemple initial de la Maggia (Niger) bordée par des *Prosopis*, les plantations de berges commencent à se multiplier le long des oueds aménagés ;
- par contre, les bandes enherbées (éventuellement arborées) sont encore très peu utilisées comme aménagement antiérosif, soit seules sur les très faibles pentes, soit en intercalaire avec des diguettes ; il est vrai que l'introduction des cultures fourragères n'avance guère au Sahel.

La panoplie des techniques mécaniques et biologiques de lutte contre l'érosion et la désertification est aujourd'hui très riche au Sahel ; les premières se vulgarisent plus vite que les secondes, sans doute parce qu'elles ont fait l'objet de davantage d'efforts mais aussi parce qu'elles se heurtent à moins de contraintes socio-économiques immédiates.

La disponibilité sociale des techniques de lutte

Les populations du Sahel connaissent bien la dégradation de leur environnement et ressentent vivement la raréfaction de l'eau et la baisse de productivité de leurs terres agro-sylvo-pastorales ; elles sont donc motivées pour s'engager dans la lutte. Cependant, l'expérience montre qu'elles adoptent plus ou moins bien, ou pas du tout, les techniques qui leur sont proposées : chaque individu ou village fait valoir des contraintes particulières en référence à sa situation propre. La réduction de ces contraintes à quelques points généraux clés ne doit pas faire oublier que la prise en compte de la diversité des situations sur le terrain est une condition de succès des actions engagées.

L'analyse de la disponibilité sociale des techniques de lutte contre l'érosion et la désertification se situe dans le cadre d'une option aujourd'hui largement consacrée : le développement rural durable du Sahel suppose d'abord que les droits et pouvoirs d'aménager et de gérer leurs terroirs soient reconnus ou transférés aux collectivités.

Techniques manuelles et techniques motorisées

Les techniques présentées sont entièrement réalisables manuellement, sauf pour quelques travaux lourds (certains transports, la construction de contre-dunes ou de barrages...) ou lorsqu'un projet en décide autrement. A priori, les techniques manuelles sont rapidement maîtrisables par les exploitants alors que le recours aux engins les place en situation de dépendance : mais, au bout de trois ans d'intenses réalisations, aucune des techniques mises en œuvre par le PDRI de Keita (Niger) n'a été utilisée par un exploitant pour aménager son champ. Cependant, ce constat doit être nuancé.

Les techniques proposées demandent des outils nouveaux : pelles, pioches, barres à mine, niveaux à eau ou de maçon, brouettes, charrettes. En l'état actuel, il faut les mettre gracieusement à la disposition des populations, sauf lorsqu'existent déjà des organisations rurales capables d'en assurer l'approvisionnement et la diffusion par des systèmes de crédit. Le manque d'outils est fréquent ; on peut s'étonner, par exemple, que les grands efforts forestiers ne soient pas accompagnés par des essais de diffusion d'outils pour tailler et élaguer correctement les arbres.

Pour être apprise et utilisée, toute technique nouvelle demande une formation et un suivi-conseil ; des efforts importants ont été faits en ce sens et des méthodes efficaces et adaptées ont été localement mises au point. Il reste que les savoirs locaux sont encore peu intégrés à ces formations pour les rendre plus immédiatement accessibles et durables ; les arbres, les herbes, les sols et les groupements végétaux sont bien connus des populations qui les identifient par des noms locaux plus significatifs que les termes scientifiques. De ce point de vue, les visites et les concertations intervillageoises se sont révélées d'une très grande efficacité et sont une méthode à développer. L'apprentissage après la formation demande des conseils pratiques sur le terrain que le suivi par les projets n'apporte pas souvent ; l'expérience montre qu'une solution généralement efficace est la formation d'"encadreurs ou animateurs villageois". Ainsi, même lorsqu'elles ne sont que manuelles, les techniques de lutte contre l'érosion et la désertification demandent une assistance matérielle et technique (formation, suivi) qui a des coûts inférieurs à ceux d'une intervention mécanisée mais qui doivent être assumés.

Dans les zones à faible densité de population, très étendues dans le nord du Sahel, la dimension des surfaces à aménager est sans commune mesure avec la force de travail localement disponible. Le recours à une main-d'œuvre extérieure (armée, jeunes du service civique...) n'est qu'une solution partielle dont les résultats techniques sont souvent décevants. Il reste alors la solution des grands travaux en régie et avec les engins motorisés : la population reçoit mais ne participe pas et l'entretien des aménagements laisse à désirer.

Il existe pourtant des possibilités de recourir au travail mécanisé dans le cadre de l'option d'une gestion villageoise du terroir.

Il existe des organisations rurales déjà bien structurées et expérimentées qui gèrent des tracteurs ou des camions ou qui louent les services d'entreprises pour réaliser des aménagements antiérosifs.

Dans les villages déjà organisés et engagés dans l'aménagement de leurs terroirs, il est possible d'introduire des opérations de récupération des terres dégradées dans le cadre de contrats établis avec les villages et programmant le travail, l'exploitation et la gestion des terres récupérées. L'important ici est que la nature, le moment et le produit de l'aide soient maîtrisés par les villageois. Cette approche peut être décisive mais elle demande à être testée plus largement.

Organisation collective du travail

Il est évident que le Sahel n'atteindra de nouveaux équilibres socio-écologiques que par les efforts de chacun sur ses terres. Mais si l'approche individuelle est nécessaire, elle n'est pas suffisante :

- l'aménagement d'une grande ravine relève des exploitants riverains et demande un travail de groupe ;
- l'aménagement des terres collectives sylvo-pastorales relève de la collectivité ;
- l'accès à la formation, à l'assistance matérielle et technique, au crédit... demande l'adhésion à une organisation collective ;
- enfin, et surtout, l'aménagement d'un champ individuel n'est garanti que par celui des champs voisins, du bassin versant, et du terroir : la réalisation est le plus souvent individuelle mais elle doit s'inscrire dans une démarche collective.

● L'organisation collective est donc un impératif. Peu importe son origine étant donné l'extrême diversité et précarité des situations institutionnelles au Sahel ; elle peut se fonder sur une structure traditionnelle, naître d'une initiative locale ou à l'incitation d'un service, d'un projet ou d'une ONG. De même, elle peut être villageoise ou procéder de la fédération de groupements de quartiers, hameaux et sous-terroirs. Son histoire lui appartient ; l'important est qu'elle exerce ses fonctions de conception et d'exécution de l'aménagement et de la gestion du terroir, d'appui aux actions individuelles et d'organisation des entreprises collectives. L'essentiel est de la former et de l'assister dans l'exercice de ses fonctions, jusqu'à ce qu'elle gagne son autonomie dans le cadre socio-économique et institutionnel qui est le sien. Même dans la situation difficile actuelle du Sahel, il y a suffisamment d'exemples probants en la matière pour que l'espoir l'emporte sur le doute et que disparaisse la tentation d'imposer des modèles.

● La première fonction de cette organisation est de susciter et de soutenir les actions individuelles par des appuis matériels (prêt, location ou vente à crédit d'outils, de moyens de transport, de semences et de plants...), par des conseils pratiques et par l'encouragement à l'entente et à l'entraide entre exploitants voisins (y compris par le règlement des différends fonciers ou techniques). On retrouve ici l'importance de l'intégration des connaissances et des compétences locales et de la formation de responsables villageois qualifiés.

Bien entendu, cette prééminence de l'organisation collective ne lui donne pas le droit de procéder autoritairement à des aménagements collectifs sur les terres appropriées et au détriment des intérêts d'un certain nombre d'exploitants. Les exemples abondent d'aménagements de grande envergure, faits avec ou sans la participation villageoise et que les exploitants ont délaissés.

● La seconde fonction de l'organisation collective est de concevoir, de programmer et de diriger l'exécution des travaux collectifs.

Elle a besoin de conseils qualifiés pour la conception des travaux lourds ou complexes comme le traitement d'une grande ravine ou d'un oued (choix du type d'ouvrage et du site, implantation et dimensionnement). Le conseil doit lui être donné sous forme de concertation et d'explication et non sous forme de démon-

tration et de directive ; le conseil n'est pas le pouvoir de décider mais le devoir de convaincre.

L'organisation collective a aussi besoin de conseil pour évaluer la quantité de travail à fournir et pour programmer l'exécution. Il s'agit d'un problème important car, lorsque les besoins individuels et collectifs de travail entrent en contradiction, les aménagements individuels et collectifs en subissent les conséquences et des tensions néfastes apparaissent dans le groupe. Il est fréquent que le village sous-estime le travail à faire et surestime ses capacités, soit parce qu'il veut bien faire, soit parce qu'il est trop sollicité. Or, il est important pour l'avenir de l'organisation qu'elle apprenne à mesurer et à tenir ses engagements.

Le succès de l'aménagement des terres sylvo-pastorales collectives dépend plus de l'utilisation qui sera faite de ces terres que des travaux proprement dits ; il appartient à l'organisation collective (et à son conseil) de définir et de programmer cette utilisation en concertation avec l'assemblée villageoise pour que chacun sache quels intérêts individuels et/ou collectifs justifient ces travaux.

Ce qui précède montre l'importance de la formation et du suivi des organisations rurales qui ont ou auront la responsabilité d'aménager et de gérer leurs terroirs ; cette formation ne doit pas se limiter aux techniques et à la gestion, elle doit aussi porter sur l'organisation et la programmation des travaux et sur leur évaluation.

Aménagement des terres agricoles et sylvo-pastorales

Les problèmes socio-économiques et institutionnels et leur approche varient selon que l'action de lutte contre l'érosion et la désertification porte sur des terres agricoles ou sur des terres sylvo-pastorales. Trois facteurs déterminent ces différences :

- les terres agricoles sont appropriées par des individus et des familles ; elles sont surexploitées, très sensibles à l'érosion et localement insuffisantes ;
- sur les terres sylvo-pastorales villageoises et intervillageoises, les droits fonciers individuels et collectifs sont imbriqués avec ceux que l'Etat s'est attribués et avec ceux qui sont accordés aux éleveurs transhumants ou tolérés ; la dégradation écologique vient autant de la désorganisation des systèmes d'exploitation que de la surexploitation ;
- les espaces pastoraux relèvent à la fois du domaine national et des droits d'usage traditionnels (non codifiés sauf exception) des groupes d'éleveurs transhumants ; ces derniers ont évolué avec l'extension des cultures sèches ou irriguées (sédentarisation) et sous le coup de la politique d'hydraulique pastorale à partir des années 50 ; sur ces terres, la désertification résulte à la fois de la sécheresse et de la désorganisation des systèmes de production.

● Les agriculteurs et les agropasteurs sont très motivés par la sauvegarde, la reconstitution et l'amélioration de la productivité de leurs terres agricoles épuisées ou dégradées, et devenues trop rares dans toutes les zones à forte densité relative. Les actions de CES sont principalement individuelles (familiales) et subissent des contraintes foncières. Généralement, celui qui aménage une terre acquiert sur elle un droit d'usage qui a la durée de l'aménagement. L'ayant droit qui prête ou loue un champ est peu enclin à laisser son locataire ou emprunteur l'aménager ou le planter ; il préfère souvent que l'aménagement soit collectif, ce qui préserve son droit. Les actions de lutte contre l'érosion et la désertification sont donc un puissant facteur d'accélération des changements fonciers en faveur de l'appropriation privée. D'ailleurs, on voit de plus en plus des propriétaires, "grands" ou "absentéistes", employer de la main-d'œuvre salariée pour réaliser ces travaux : sur le plateau central du Burkina Faso, des équipes d'hommes et de femmes se sont formées et

louent leurs services à la tâche pour aménager des champs privés.

- Les espaces sylvo-pastoraux villageois et intervillageois sont l'objet d'une compétition croissante entre différents modes d'exploitation et types de droits (l'usage des champs après la récolte pose localement des problèmes similaires). L'aménagement collectif de ces espaces entraîne souvent des réticences et des conflits ; il suppose aussi que l'Etat reconnaisse le droit de la collectivité à aménager, à gérer et à exploiter ces espaces. Les problèmes seraient plus faciles à résoudre si on prenait systématiquement en compte l'ensemble des composantes des systèmes de production qui utilisent ces espaces (élevage, foresterie, cueillette, chasse...) ; trop souvent, la composante agricole est la seule considérée et les autres sont négligées ; en conséquence, l'approche concernant l'aménagement de ces espaces est souvent inadaptée.

- L'aménagement des grands espaces sylvo-pastoraux en termes de lutte contre l'érosion et la désertification est à peine amorcé : quelques opérations significatives sont en cours, en particulier au Mali, mais elles sont encore trop mal connues et trop récentes pour tirer des leçons. Les problèmes essentiels sont, d'une part, la redéfinition des droits de l'Etat et des collectivités d'éleveurs et, d'autre part, la mise au point de méthodes et de techniques pour compenser le déséquilibre entre la force de travail disponible et les surfaces à traiter.

Des réformes du code rural et du droit foncier sont engagées ou à l'étude dans tous les pays sahéliens, mais elles se heurtent à des conflits d'intérêts et à l'insuffisance des leçons d'expériences, en particulier sur les terres dites collectives et d'Etat. La recherche-développement a un important champ expérimental à couvrir dans ce domaine, à l'exemple de ce qui est entrepris au Burkina Faso dans le cadre du Programme national de gestion des terroirs villageois.

Travail, alimentation et revenu

Aujourd'hui, toutes les populations sahéliennes ont non seulement besoin de boire et de manger, mais aussi de gagner de l'argent pour faire face à des besoins incompressibles. Leurs systèmes de production actuels visent à répondre à ces besoins selon des priorités variables en fonction du moment et des conditions locales. L'introduction des pratiques antiérosives et de lutte contre la désertification dans les systèmes de production soulève des problèmes parce qu'elles exigent du temps, du travail et, dans une certaine mesure, de l'espace productif.

L'exigence de travail a pour première conséquence d'entrer en contradiction avec les activités existantes. Le désœuvrement des populations en saison sèche était discutable hier, il n'est plus vrai dans les conditions actuelles de survie du Sahel. L'artisanat recule mais le maraîchage et le petit élevage ont progressé, la cueillette connaît un regain d'activité, le salariat agricole se généralise et les migrations du travail s'amplifient. Ces migrations font partie des systèmes de production car elles exigent du travail intégré dans le calendrier des producteurs et fournissent des revenus indispensables. Dès lors, les propositions d'aménagement antiérosif doivent s'inscrire dans les systèmes de production et fournir des produits supérieurs ou équivalents à ceux des activités qui seront réduites ou abandonnées.

La première solution mise en œuvre par les producteurs est une mobilisation accrue de la force de travail des enfants et des femmes : ceci implique, d'une part, que cette force de travail soit libérée et formée (voir ci-après) et, d'autre part, que les techniques de lutte soient les plus simples possibles et que les travaux lourds soient allégés, en particulier pour le transport (brouettes, charrettes, camions ou tracteurs). Cette solution n'est pas suffisante à elle seule.

La seconde solution, fondamentale, est que les techniques mises en œuvre soient profitables à très court terme. Cette exigence a plusieurs conséquences.

- Dans les conditions agro-climatiques du Sahel et hors des périmètres irrigués, les techniques biologiques sont défavorisées sauf, et ceci est important, pour les cultures fourragères et les plantes arbustives (comme le pois d'angole par exemple) ; les efforts entrepris en faveur de ces dernières doivent être intensifiés dans cette perspective. Par ailleurs, toutes les techniques mécaniques ne sont pas favorisées ; en particulier, les techniques manuelles de récupération des terres dégradées ont un effet productif différé (sauf les zaï et les demi-lunes) ; on retrouve ici le choix du recours complémentaire à la motorisation pour obtenir des résultats rapides (scarifiage, labour).

- Améliorer la productivité du sol (rendement) ne peut plus être le seul critère d'introduction d'une technique : améliorer la productivité du travail est aujourd'hui indispensable pour réussir la vulgarisation d'une technique antiérosive. Le temps n'est plus où on pouvait considérer le travail familial comme "gratuit" ; il a maintenant une valeur marchande (de 500 à 1 500 FCFA la journée de travail agricole). L'application de ce critère a pour conséquence principale que l'introduction d'une technique doit s'accompagner d'une formation et d'un équipement en outils adéquats.

- Améliorer la productivité du sol et du travail a pour premier effet d'augmenter la production, en particulier alimentaire. Une première contradiction apparaît avec la pratique d'une aide alimentaire systématique, type PAM, pour les travaux antiérosifs ; elle est souvent nécessaire localement et momentanément ; la systématiser pendant des années comme le font certains projets est faire de l'anti-développement. Il existe des exemples probants montrant qu'une collectivité rurale peut, sans experts ni moyens logistiques coûteux, gérer cette aide et la transformer en une activité de développement ; dans le cas particulier du Cap-Vert, l'Etat gère et vend l'aide alimentaire pour distribuer un salaire minimal aux équipes de travailleurs engagées dans les opérations d'aménagement.

- Pour valable qu'il soit à l'échelon national et régional, l'objectif de l'autosuffisance alimentaire en termes de production n'est pas nécessairement le premier objectif de tous les producteurs (y compris des femmes, des enfants et des jeunes mobilisés dans la lutte contre l'érosion et la désertification). De plus en plus nombreux sont et seront ceux qui achètent leur nourriture avec les revenus obtenus par un travail salarié, artisanal ou commercial. La création d'entreprises rurales pour réaliser des aménagements antiérosifs à la demande est aussi un moyen de vivre au Sahel pour de jeunes hommes et femmes dépourvus de terre. De ce point de vue, et par leur insertion dans les systèmes de production, les techniques d'aménagement mises en œuvre doivent aussi être l'occasion d'une diversification des cultures et d'intégration des activités agro-sylvo-pastorales pour multiplier les sources de revenus ; la recherche doit contribuer à cet effort encore trop conditionné par la seule perspective de débouchés régionaux ou extérieurs alors que les marchés manquent souvent de produits localement consommés.

Il est indispensable que les producteurs décident sans contrainte de l'usage des terres aménagées par eux et bénéficient librement de leurs productions ; cela implique des réformes institutionnelles et réglementaires déjà évoquées et une libéralisation des circuits commerciaux, déjà engagée dans la plupart des pays.

Les femmes et la lutte contre la désertification

Sollicitée par les exigences en travail des techniques mises en œuvre, la participation des femmes à la lutte contre l'érosion et la désertification est aussi imposée par les migrations de courte et longue durée des hommes et par les responsabilités sociales nouvelles que leur confèrent l'absence des chefs d'exploit-

tation et les changements sociaux qui en dérivent. Identifier les contraintes qui s'opposent à cette participation et les moyens de les lever est maintenant l'un des objectifs majeurs de la recherche-développement ; celle-ci doit considérer les femmes en tant qu'acteurs du développement collectif et de leur propre promotion.

■ Le rôle des femmes dans l'action collective

Les conditions de la lutte pour la survie au Sahel ont entraîné des changements, inachevés, dans la répartition sexuelle du travail : les femmes sont de plus en plus engagées dans le travail agricole et, particulièrement, dans la lutte antiérosive. Cet engagement résulte d'abord d'une demande des hommes, chefs d'exploitation et de village et représentants des autorités ; il s'agit alors d'une mobilisation subie autant qu'acceptée. Mais cet engagement vient aussi de la prise de conscience par les femmes de la dégradation et de la raréfaction des ressources naturelles qu'elles exploitent pour leurs besoins propres et familiaux ; leur participation devient volontaire et les campagnes d'information confortent très largement cette tendance positive.

La participation des femmes aux actions villageoises collectives de lutte est croissante, toujours massive et souvent très largement majoritaire, en particulier dans les zones fortement touchées par l'émigration saisonnière ou de longue durée (participation de 60 à 80 % en pays mossi et jusqu'à 90-95 % dans le PDRI de Keita-Niger ; dans ce dernier cas, la tâche journalière est rétribuée par des vivres PAM et favorise le maintien de la migration masculine, contrairement aux objectifs du projet).

De même, de plus en plus nombreuses sont les femmes qui, à la demande de leurs maris, participent à l'aménagement des champs familiaux sans contrepartie pour leur travail.

Cette participation des femmes aux actions collectives familiales et villageoises soulève des problèmes particuliers.

Les femmes sont généralement confinées aux travaux soit spécifiquement féminins (transport d'eau, préparation et apport de la nourriture), soit aux travaux les moins qualifiés et parfois les plus lourds (transport des pierres, damage de la terre). Il en résulte, d'une part, que le travail féminin est souvent sous-estimé et, d'autre part, que les femmes n'ont guère accès à la formation et aux postes qualifiés et de responsabilité collective. Or, des expériences positives de plus en plus nombreuses montrent que l'ouverture de la formation, de la qualification et des responsabilités aux femmes en même temps qu'aux hommes et avec leur accord est un facteur important de consolidation et de développement de la lutte engagée ; cette ouverture va dans le sens de l'évolution sociale en cours.

Les terres aménagées profitent rarement aux femmes, même lorsqu'il s'agit de terres récupérées grâce à leur travail (cas de Keita). De même, les aménagements de terres collectives villageoises tiennent peu compte des activités des femmes sur ces terres ; en conséquence, et bien qu'elles aient participé aux travaux, elles font peu d'efforts pour les protéger et les entretenir (cas des mises en défens qui lèsent leurs intérêts). Or, en plus de leurs activités de cueillette, les femmes sont souvent propriétaires de la majorité du petit bétail et d'une partie des bovins. La lutte contre la divagation des animaux ne se gagnera pas seulement à coups d'interdits, d'amendes et de barbelés ; la gestion villageoise du terroir et la réussite de son aménagement sont conditionnées par la prise en compte des intérêts de ceux et de celles qui pratiquent des activités aussi essentielles que la cueillette et l'élevage.

Les quelques expériences qui ont réussi montrent l'utilité d'engager des opérations de recherche-développement adaptées aux diverses situations agro-écologiques et socio-économiques. Le problème de l'accès des femmes à la terre est souvent posé sans référence aux sociétés locales ; dans le cadre de l'approche

"gestion villageoise du terroir", il trouverait plus facilement une solution en développant les activités des femmes au lieu de les négliger.

■ Les actions féminines, individuelles et collectives, de lutte contre l'érosion et la désertification

Certaines femmes sont propriétaires de terres par héritage, don ou achat, d'autres sont en situation de propriétaires temporaires : veuves sans fils majeur, femmes dont le mari est en migration longue. Mais, dans la grande majorité des cas, les femmes ne disposent que de terres prêtées à court terme ou, éventuellement, louées. Il leur est donc difficile de planter et d'aménager les terres qu'elles cultivent car elles courent le risque de voir les propriétaires les reprendre aussitôt.

Les femmes forment donc volontiers un groupement pour obtenir un champ collectif qui leur donne accès à la terre et aux techniques. Les vieux du village et les autorités appuient souvent cette démarche lorsqu'elle se heurte aux réticences des propriétaires. Les services et projets apportent plus facilement leur assistance aux groupements féminins : formation, suivi, matériels.

Les femmes privilégient l'emploi des techniques mécaniques légères et des techniques biologiques.

Parmi les techniques mécaniques légères, le niveau à eau et la diguette en pierres ont leur faveur. Le zaï mérite une plus grande vulgarisation auprès d'elles car il a deux avantages : les terres accordées aux femmes sont souvent très dégradées et les zaï les rendent immédiatement productives ; les zaï ne sont qu'un aménagement annuel et ne soulèvent donc aucun problème foncier. Les cultures pratiquées sur les champs aménagés ont toujours une double fin : autoconsommation, transformation et vente. Les femmes adoptent volontiers la diversification lorsqu'elle génère des petits revenus.

Les techniques biologiques concernent les mini-pépinières individuelles ou collectives, les plantations d'arbres isolés ou en bosquets, la préférence accordée aux essences locales fruitières, fourragères et médicinales, l'enherbement de courbes de niveau et de bordures, les haies vives, les vergers maraîchers. Cette prédilection s'explique fort bien par les besoins des femmes en ressources végétales et par la nature du travail demandé : soigneux, régulier, découpé en séquences courtes et peu exigeant en moyens. Des initiatives telles que la formation de "paysannes forestières" (Burkina Faso) montrent que les femmes peuvent avoir un rôle moteur dans le développement de l'agroforesterie et des techniques biologiques au Sahel. Inversement, on a déjà souligné leurs réticences devant les mises en défens totales.

■ Les obstacles à l'action des femmes

Les tâches quotidiennes des femmes ont encore été alourdies par la désertification (corvées d'eau et de bois) et le nombre croissant de migrations (qui concernent de plus en plus les jeunes filles). Leur participation à la lutte contre l'érosion et la désertification passe donc par l'allègement des tâches quotidiennes, c'est-à-dire par le développement de l'hydraulique villageoise, des moulins à mil et des foyers améliorés, des soins de santé maternelle et infantile. Des progrès peuvent aussi être réalisés dans les chantiers collectifs auxquels les femmes participent : organisation de repas collectifs et de la garde des enfants en bas âge.

L'absence des hommes et l'engagement des femmes dans les actions de lutte suscitent chez elles des demandes croissantes et justifiées d'accès à la formation, au conseil-suivi, aux matériels et facteurs de production (y compris par crédit), au droit à la sécurisation des terres exploitées et à la libre disposition de leurs productions, aux responsabilités villageoises d'initiative et de décision. L'expérience mon-

tre, à l'étape actuelle, l'extrême difficulté sinon l'échec de la recherche de réponses sectorielles et systématiques à l'échelon national. En revanche, elle montre que des solutions au moins transitoires sont trouvées à l'échelle du village ou d'ensembles villageois homogènes dans le cadre de l'approche villageoise de la gestion du terroir.

La surcharge de travail et les responsabilités sociales nouvelles, individuelles, familiales et villageoises, auxquelles elles doivent faire face conduisent à un nouveau rapport à l'enfant. Elles sont d'autant plus sensibles aux difficultés à élever les enfants que les soins et la scolarité sont devenus payants et que les maris sont absents. Les femmes rurales demandent en nombre croissant le soutien d'une politique de planification familiale et d'espacement des naissances, que certains pays du Sahel ont déjà engagée et que le CILSS recommande. Certes, il existe encore des réticences chez les femmes et chez les hommes mais, en milieu rural et parce qu'il s'agit bien de l'avenir des enfants, l'adhésion à cette politique se développe.

Pour une approche villageoise de la gestion du terroir

En matière de lutte contre l'érosion et la désertification, le Sahel dispose d'acquis récents mais probants au plan technique, méthodologique et social. Ils sont suffisants pour engager cette lutte dans toutes les situations agro-écologiques et socio-économiques.

La recherche doit cependant être poursuivie pour améliorer l'adaptation des plantes et des techniques culturales à la sécheresse et pour réaliser l'intégration agro-sylvo-pastorale. Des études sont encore nécessaires pour évaluer et préciser les tendances des changements sociaux en cours par référence à la lutte engagée. De ce point de vue, des actions expérimentales et de recherche-développement seront d'un grand concours car elles ont la capacité de s'adapter à la diversité des situations villageoises et permettent de tirer des leçons à l'échelon local qui pourront alimenter les réformes institutionnelles nécessaires. Bien entendu, cette démarche doit être conçue comme étant complémentaire de l'action générale pour le développement durable.

A la lumière des acquis, la leçon fondamentale pour le Sahel est que les programmes et actions de lutte contre l'érosion et la désertification doivent prendre en compte les systèmes de production existants, dans la diversité de leurs composantes agro-sylvo-pastorales et de leurs acteurs, hommes et femmes. Cette leçon justifie pleinement l'approche villageoise d'aménagement et de gestion du terroir.

Bibliographie

CHLEQ J.L., DUPRIEZ H., 1984. Eau et terres en fuite. Paris, L'Harmattan, Dakar, ENDA (coll. Terres et vie).

DUGUE P., 1989. Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone soudano-sahélienne. Montpellier, CIRAD-DSA, 350 p. (coll. Documents systèmes agraires, n° 9).

Dynamique des systèmes agraires, 1988. Cah. Rech.-Dév., n° 20.

EGGER H., MANFRED M., GROTEN S., THOMAS T., SCHMITT K.H., WINCKLER G., 1988. Development and farming systems in Burkina Faso : soil and water conservation measures as a land resource management aspect of smallholder farming systems in Burkina Faso. Ouagadougou, Programme allemand CILSS.

GENTIL D., 1979. Les pratiques coopératives en milieu rural africain. CEDEC.

MARTY A., 1986. Une approche de la classification sociale en milieu rural sahélien. Paris, AMIRA.

MONIMART M., 1989. Femmes du Sahel : la désertification au quotidien. Paris, Karthala, OCDE-Club du Sahel.

RAYNAUT *et al.*, 1988. Le développement rural, de la région au village : analyser et comprendre la diversité. Université de Bordeaux-II-GRID.

ROCHETTE R.M., 1984. Synthèse du séminaire régional sur la désertification : stratégie de lutte contre la désertification au Sahel (Nouakchott, 29 octobre-4 novembre 1984). Paris, CILSS-Club du Sahel.

ROCHETTE R.M. (sous la direction de), Programme allemand CILSS, 1989. Le Sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expériences. Weikersheim, Margraf.

SCHMITT K.H., 1987. Exploitation de la crue d'une ravine pour l'agriculture. Ouagadougou, Programme allemand CILSS.

TOURE O., 1987. Une société pastorale en mutation sous l'effet des politiques de développement : les Peul du Ferlo. Bamako, INSAH, Dakar, ISRA (Etudes et travaux de l'USED, n° 18).

Innovations pour la question agricole de l'eau

**Georges Serpantié
ORSTOM**

Table des matières

Risques hydriques et ressources en eau	319
Le milieu sahélien	319
L'eau, condition aléatoire de production	320
Maîtrise de l'eau au champ	321
Systèmes de production et partage social des ressources en eau	323
Les grands thèmes techniques	325
L'eau comme facteur consommable de production : l'arrosage et l'irrigation	326
L'irrigation : une innovation exogène et sociale	326
Les grands périmètres irrigués : des objectifs ambigus	326
L'arrosage des cultures de contre-saison	329
Les cultures irriguées par récolte de ruissellement en hivernage	330
La valorisation des grands aquifères	331
L'amélioration de la gestion du risque hydrique au champ	331
L'adaptation au cycle pluvieux	332
La résistance physiologique à la sécheresse	333
Le stockage, le drainage et l'évaporation du sol	333
L'évapotranspiration	334
Les eaux de surface	335
La gestion collective du paysage hydrique dans le terroir	338
Gestion des reports d'eau dans l'espace	338
Mise en valeur des bas-fonds par de petits ouvrages	339
Mieux appréhender la valeur symbolique de l'eau	341
Bibliographie	343

Nous n'aborderons dans cette étude que le domaine de la production agricole dans la zone encadrée par les isohyètes 300 à 700 mm, qui couvre en partie la région soudano-sahélienne. Si on ne peut sous-estimer les interactions entre l'usage agricole de l'eau et les usages domestiques et pastoraux, en particulier les questions de concurrence d'utilisation, de priorités et d'enjeux sociaux qui y sont liés, en bref les politiques de l'eau, nous ne traiterons toutefois pas de ce sujet*.

Nous étudierons d'abord des concepts permettant d'évaluer le changement ou de féconder la recherche agronomique dans les conditions particulières des systèmes agraires sahéliens. Nous aborderons ensuite l'arrosage et l'irrigation, pratiques à fort contenu social, puis la maîtrise de l'eau sur les cultures pluviales, enfin la gestion du paysage hydrique.

Risques hydriques et ressources en eau

Le milieu sahélien

Le Sahel est un milieu semi-aride, selon la définition écologique. La sécheresse est effectivement une réalité huit à neuf mois sur douze dans cette région, d'où l'adaptation des formations végétales (steppes et prairies d'annuelles, savanes à strate arbustive dominante, formations arborées limitées aux sites pourvus d'un aquifère persistant et accessible) et la place qu'occupe l'élevage transhumant dans le système de production régional. Hormis certaines situations particulières (berges des fleuves, dépressions et vertisols avec cultures de riz, sorgho ou mouskouari de début de saison sèche, cultures arrosées de contre-saison), l'agriculture est surtout pluviale. Pendant la courte période pluvieuse, l'apport mensuel moyen en eau est important (100 à 200 mm par mois), soit autant que dans les régions de savanes humides.

L'eau n'est donc pas fondamentalement un bien rare ou coûteux en soi, comme le serait l'eau d'une source ou d'un forage impliquant une gestion économique. Il convient cependant de nuancer cette affirmation car des cas d'offre limitée en eau se produisent certaines années (1973, 1984) et l'espérance annuelle de la pluviosité a diminué depuis 1970 d'environ 100 mm au nord et 200 mm au sud de la zone considérée. Les variabilités spatiale et temporelle de l'offre sont par contre très élevées. Presque tous les ans, on assiste à des périodes de plus de 15 jours sans pluie utile, ainsi qu'à des différences de plus de 100 mm entre les totaux pluviométriques de stations écartées de quelques kilomètres. La contrainte de cet aléa est amoindrie en savane humide par la durée de la saison, autorisant stockages dans le sol ou compensations végétatives.

Au Sahel, à la fugacité de la saison des pluies s'ajoute l'importance des flux hydriques d'appauvrissement. La demande évaporatoire ETP varie entre 50 et 100 mm par décade pendant la saison culturale. Les exportations d'eau par ruissellement sur de petits bassins versants de pente moyenne de 1 % dépassent une année sur deux 20 % de la hauteur d'eau totale tombée (ALBERGEL, 1988).

Mais les quantités concernées par un flux local (ruissellement et réinfiltration)

* On pourra se reporter à plusieurs ouvrages parus à l'occasion de la Décennie de l'eau (dont DESJEUX, 1985, et les Actes du colloque de la Sorbonne sur les Politiques de l'eau en Afrique, 1983).

y sont bien plus importantes. En effet, il faut prendre en compte la fréquente juxtaposition de terrains à faible capacité en eau et/ou encroûtés (lithosols, glacis, zones érodées ou dénudées, sols sarclés puis rebattus), donc producteurs de ruissellement, et de terrains plus absorbants (cuvettes et marigots, sols profonds à texture grossière, fourrés denses avec litière, champs récemment sarclés, plages herbeuses). Même les flux occasionnés par un drainage profond peuvent être importants, sur sols à texture grossière. En termes de bilan hydrique, il existera au bout du compte des périodes et des zones particulièrement déficitaires en eau, d'autres fortement excédentaires. Ce n'est donc pas la rareté de l'eau qui caractérise d'abord l'agriculture pluviale sahélienne, mais bien l'intensité et la variabilité des flux et des états hydriques.

L'eau, condition aléatoire de production

Dans l'analyse de l'élaboration du rendement, les agronomes appellent habituellement "facteur agronomique" un élément dont la quantité apportée concourt quantitativement au rendement et peut être retrouvée en grande partie dans le produit (facteurs nutritionnels, énergétiques). Une "condition" est un état du milieu qui a une influence sur l'élaboration du rendement. L'expression "eau facteur du rendement" est donc impropre: à l'inverse de l'azote, facteur nutritionnel qui est un constituant de la plante, et dont la réponse est de type "efficacité décroissante", l'essentiel de l'eau du sol utilisée est évapotranspiré. Mais, comme le maintien d'un état hydrique satisfaisant peut exiger une irrigation coûteuse, l'eau devient un facteur économique et la notion d'efficacité (le rendement d'un facteur) peut s'appliquer à la condition hydrique dans ce cas particulier.

■ Etat hydrique maintenu favorable

Les facteurs de rendement sont alors les facteurs nutritionnels et le niveau de radiation photosynthétiquement active. Celui-ci est limité par la valeur du rayonnement global, lequel s'accompagne d'un flux d'évapotranspiration potentiel, l'ETP. Pour de fortes valeurs de rayonnement, les contraintes héliothermiques provoquent la fermeture des stomates et le rendement de la culture baisse. L'efficacité de l'eau transpirée, si on la mesurait par le rapport entre le poids d'eau transpirée et la production d'un gramme de matière sèche, serait donc réduite au-delà de ce seuil critique. Néanmoins, les graminées à métabolisme en C4 à port érigé cultivées au Sahel, dont les taux élevés de conversion photosynthétique requièrent à la fois hautes températures (optimum à 40 °C) et hautes intensités lumineuses, repoussent notablement ces contraintes, et présentent donc une excellente "efficacité en eau transpirée" (250 à 350 contre 450 à 950 pour les C3).

Au champ, l'ETM (évapotranspiration maximale au champ) comprend l'évaporation du sol et prend en compte l'énergie d'advection en plus du bilan radiatif local. D'autre part, l'efficacité photosynthétique change au cours d'un cycle végétatif. L'efficacité de l'eau consommée variera donc suivant le microclimat (rôle des brise-vent), entre les phases du cycle (variation des surfaces évapotranspirables et de l'état de surface du sol), mais aussi en fonction des facteurs nutritionnels et conditions culturales qui favorisent la croissance et le développement des sites d'accumulation de la matière sèche. Certains facteurs qui accroissent pourtant l'ETM (indice de surface foliaire donc la densité de peuplement et la précocité de recouvrement foliaire) peuvent accroître fortement la productivité donc l'efficacité de l'eau au champ. D'autres, comme l'enherbement, agissent en sens inverse. L'efficacité variera aussi avec le climat, l'espèce et le cultivar.

Pour le mil, une culture "optimisée" en 105 j, à Bambey (Sénégal), a un ETM de 500 mm environ (DANCETTE, 1983), pour 30 q/ha de rendement, soit une "efficacité maximale de l'eau consommée" de 6 kg de grain/ha/mm ou 1,8 kg de MS/m³ donc 550 g d'eau/g MS. En culture à faible densité de peuplement et peu fertilisée, on peut espérer une réduction de l'ETM, mais s'accompagnant d'une chute du rendement ; l'efficacité au champ serait alors réduite à 1 ou 2 kg de grain/ha/mm. Dans l'absolu, si on raisonnait suivant la maximisation de l'efficacité de l'eau, c'est à une artificialisation totale de la culture que l'on parviendrait en recherchant l'optimisation des conditions et la maximisation de la productivité des facteurs. Mais ceci a peu de sens dans les conditions économiques du Sahel.

■ Conditions hydriques non remplies

Le déficit hydrique (mesuré le plus souvent par l'écart ou le rapport de l'évapotranspiration réelle ETR à ETM) ou l'engorgement du sol provoquent une diminution de la photosynthèse et une perturbation du développement. On observe généralement une relation linéaire entre production de matière sèche et rapport ETR/ETM. Dans le Sahel, le déficit hydrique s'accompagne aussi de troubles de l'alimentation minérale : il réduit le volume de sol exploité par le système racinaire et perturbe son fonctionnement, du fait du rôle de l'humidité dans la minéralisation des matières organiques et la diffusion des ions rares ou peu mobiles (cas du phosphore, du potassium). Par ailleurs, il existe des périodes critiques pour les cultures (phase d'installation, floraison) pour lesquelles un déficit ou un excès hydrique ont des incidences plus grandes sur l'élaboration du rendement car agissant sur le développement de certains organes. Il est pour cela utilisé des indices de satisfaction composites (par exemple l'indice IRESP ; FOREST, 1989).

Les conséquences d'un déficit sont aussi très variables suivant les conditions culturales. A Bambey (Sénégal), en système de culture optimisé de mil, très coûteux à l'hectare, une variation de l'indice de satisfaction IRESP de 80 à 20 % fait passer le rendement potentiel de 30 à 5 q/ha (baisse d'un facteur 6 et perte de 25 q). Sur sol pauvre et sans fertilisation, on passe de 8 à 2 q/ha, soit une baisse d'un facteur 4 et une perte de 6 q (FOREST, 1989). On peut ainsi comprendre la logique des systèmes de production extensifs (grandes surfaces, faibles intrants) en cas de risque hydrique.

Un apport d'eau supplémentaire aurait donc une incidence très variable suivant la situation et l'état même du déficit. Le concept d'efficacité (appliqué à ce supplément) aurait un intérêt à condition que l'eau soit considérée comme coûteuse, et qu'on puisse par un moyen ou par un autre (modélisation, suivi, etc.) prévoir l'influence sur le rendement de cet apport complémentaire (notion d'irrigation complémentaire). Cette situation étant peu imaginable en dehors de conditions expérimentales, ce n'est pas de l'eau qu'il faut raisonner l'efficacité, mais de l'aménagement ou de l'équipement d'irrigation destiné à réduire le déficit, dans une perspective fréquentielle.

Maîtrise de l'eau au champ

■ L'exploitation agricole

En conditions paysannes, les rendements moyens du département de Bambey (Sénégal) varient, pendant la période sèche 1968-75, entre 2 q/ha (pluie de 300 mm) et 6 q/ha (600 mm), indiquant une sensibilité du système de production régional plus faible à l'aléa pluviométrique qu'une parcelle en culture extensive. Plutôt que de chercher à maîtriser les flux hydriques, les sociétés paysannes sahéniennes ont,

le plus souvent, préféré se prémunir de l'aléa en pratiquant au moins un système extensif (agriculture ou élevage) et en s'adaptant à la variété des conditions hydriques dans le paysage.

Ainsi, dans l'exploitation agricole de chaque groupe de subsistance, coexistent souvent des systèmes de culture liés à des milieux suralimentés en eau et à bonne réserve utile (sorgho et riz sur les terrains hydromorphes des bas-fonds ou argileux) et des systèmes au contraire adaptés à des milieux sableux que caractérisent une faible capacité hydrique mais un bon drainage, une humectation rapide, une économie d'évaporation par self-mulch, et une restitution facile de l'eau (mil, semis aux premières pluies en poquet). En même temps, coexistent dans l'exploitation des systèmes de culture intensifs aptes à valoriser une bonne saison (terrains propices, faible surface, fertilisation, céréales précoces) et des systèmes extensifs moins dépendants d'un déficit ou d'un excès d'eau (élevage pastoral transhumant, champs de brousse sur terres marginales, non fertilisées, abandonnées après épuisement). Il ne faut pas oublier l'exploitation des réserves souterraines (arbres fourragers et fruitiers, petits jardins).

Enfin, les exploitations agricoles recourent à d'autres pratiques pour réduire le risque : dispersion des champs (contre l'aléa pluviométrique spatial) ; stockage et accumulation (greniers, bétail sédentaire ou transhumant), activités à but lucratif menées généralement individuellement mais contribuant plus ou moins aux besoins du groupe (artisanat, cultures commerciales, maraîchage, orpaillage, commerce, salariat en monnaie ou en nature – food for work –, migrations et investissements personnels ou collectifs dans des actions de développement).

■ A la parcelle

Des différents termes de l'ensemble technique de maîtrise de l'eau (récolte, stockage, distribution, maîtrise de l'évaporation et du drainage), seules comptent dans ces systèmes les techniques de récolte d'eau : elles recouvrent le maintien de conditions suffisantes d'infiltration par le sarclage (à plat ou en buttes), la préparation de certains terrains dégradés (piochage en sec, paillage de saison sèche), et la limitation des pertes par certains aménagements de la rugosité (labour ou billonnage initial, deuxième sarclage en nid d'abeille dogon, casiers de diguettes, buttage en quinconce, diguettes, terrasses en zones collinaires). L'utilisation de ruissellements entrants existe mais n'implique pas de pratiques particulières, si ce n'est la localisation de certaines parcelles dans des creux topographiques ou à l'aval d'impluviums.

En matière de maîtrise de l'évaporation, les pratiques relèvent d'abord de l'adaptation à des risques élevés de déficit (choix de terrains sableux, densités de peuplement et variétés photopériodiques adaptées au type de sol, à l'espérance de pluie et à la durée de la période humide). Les associations de cultures à port couvrant et à port érigé sur les terrains plus argileux et la conservation d'arbres utiles peuvent être considérées comme des techniques destinées à réétaler l'ETM et réduire l'évaporation du sol au profit d'une transpiration.

Concernant la maîtrise du drainage, on constate l'adaptation de la rugosité du sol à la nécessité d'évacuation de surplus d'eau (billonnage de l'arachide, culture à plat des bas-fonds, préférence pour les aménagements anti-érosifs perméables). Quant aux pratiques de stockage d'eau (mares et citernes), elles ne concernent que l'abreuvement et la construction. La panoplie technique ne permet donc qu'une régulation élémentaire des flux et des risques hydriques au champ.

Les concepts de "gestion de l'eau", de "valorisation agricole de l'eau", d'"efficacité de l'eau" utilisés par les techniciens ne sont en fait pas neutres. Ils renvoient implicitement aux théories de la valorisation économique comme objectif nécessaire

de toute action ; ils supposent aussi que l'eau est un facteur dont l'accès représente un coût et dont l'effet est prévisible. En réalité, l'accès à l'eau n'est coûteux qu'en saison sèche ou au sein d'un aménagement qu'il faudrait amortir. Certaines pratiques de régulation observées ont aussi un coût mais répondent généralement à des objectifs multiples (le sarclage en particulier) et leur résultat n'est prévisible que d'une façon fréquentielle (risques d'excès d'eau en particulier). Dans l'agriculture sahélienne, l'eau est avant tout une condition aléatoire de production. Nous préférons donc parler de "gestion du risque hydrique". Une exception doit être faite néanmoins, certains systèmes de décrue pouvant être considérés comme la gestion d'un stock d'eau initial (cas du mouskouari sur les karal du Nord-Cameroun), justifiant là l'utilisation des concepts de gestion de la ressource et d'efficience.

Systèmes de production et partage social des ressources en eau

Ce n'est qu'au sein même du champ cultivé, seul espace réellement contrôlé par le paysan car marqué par la culture elle-même, que s'effectuent ces pratiques de régulation des flux hydriques. Si, dans les champs, existent des formes d'aménagement hydraulique traditionnel (terrasses du Nord-Cameroun et d'Ethiopie, diguettes des collines mossi), hors du champ l'artificialisation du milieu en rapport avec l'eau semble absente des paysages sahéliens, mais ne l'est pas totalement en Afrique au sud du Sahara (MARZOUK, 1989 ; DEVISSE, 1985).

Il existe des équipements issus de projets récents (mis en place par les Etats coloniaux et modernes), mais, bien avant d'y poser le problème d'une maîtrise efficace de l'eau, il faut poser celui de leur maîtrise par la société rurale. Les conditions sociales d'appropriation rapide d'un aménagement exogène existent-elles ? En supposant que les sociétés contrôlent ces aménagements, il faut encore qu'une coopération dans la gestion de l'eau et de l'équipement se mette en place. On cite des exemples de sociétés très hiérarchisées dans la vallée du Niger, où une gestion collective de ressources naturelles (terres de décrue, bourgoutières) avait lieu : la gestion consistait en un partage annuel de l'accès à la ressource, par une autorité particulière, féodale ou religieuse. Mais rarement ces systèmes ont été conservés dans les réseaux modernes, dont la gestion est assurée par une technocratie.

Si l'histoire hydraulique du Sahel est sans doute encore à faire, les éléments dont nous disposons nous incitent à penser que, dans les régions d'agriculture pluviale, l'eau ne représente qu'une clé secondaire pour comprendre l'organisation du partage social des ressources. Pour plusieurs disciplines scientifiques, il est commode d'aborder les réalités agricoles sahéliennes en termes de "terroirs". Ceux-ci sont présentés parfois comme des territoires concernés par une gestion collective, compte tenu de l'organisation de l'espace en auréoles autour de zones d'habitat groupé. En fait, cette communauté de gestion n'est qu'apparente. L'organisation spatiale est surtout la conséquence des rapports de production au sein des groupes lignagers, des spécificités de chacun (chefferies, artisans, commerçants, griots, agropasteurs, captifs...) et des contrats qu'ils passent entre eux.

A ce titre, le terroir mossi du Yatenga est significatif (MARCHAL, 1983). Les fondateurs des différents quartiers actuels installent leurs résidences sur un espace propice : proximité d'un point d'eau, sol cultivable, profond et sain. Au stade pionnier, il y a sans doute des formes d'entraide réciproque (protection mutuelle, premières défriches...). Par la suite, chaque lignage issu d'un fondateur ou greffé au terroir s'approprie et défriche une portion de l'espace disponible. Sur chaque por-

tion, l'espace le plus proche des résidences est constitué des "champs-jardins" de chaque unité familiale. Au-delà, on trouve un grand champ collectif géré par le doyen des actifs et travaillé collectivement et intensivement par tout le quartier. Plus loin encore, chaque segment de lignage constitué exploite un ensemble de champs collectifs familiaux (en situation topographique haute ou basse). Enfin, sur les espaces éloignés et moins bien contrôlés, et sur lesquels peuvent s'installer des éleveurs, on trouve les champs individuels (sur des terrains de moindre qualité et souvent en situation topographique haute) et les espaces de parcours, de chasse et de cueillette.

Si l'on s'en tient à cette forme ancienne de fonctionnement, il apparaît que seuls les lignages et les groupes familiaux procèdent véritablement à la gestion collective d'un champ et de certains arbres, par suite de rapports familiaux de protection et de production. Au niveau du village, il existe des formes d'obligations, généralement sous l'autorité d'un prêtre de la terre. Il organise la synchronisation des travaux agricoles en ordonnant les jours de repos de la terre, le gardiennage du bétail, le début ou la fin de certains travaux, et en faisant respecter des interdits techniques (exemples du sarclage après fructification, des pratiques de travail en sec, de l'arrosage du mil) ; il règle l'utilisation de l'espace collectif du marché, des points d'eau et des lieux symboliques ; il se fait l'intermédiaire entre les hommes et les éléments, à travers la divination, les rituels propitiatoires ou les fêtes de prémices ; il juge les différends fonciers. Les pratiques d'entraide existent, mais procèdent d'obligations féodales, matrimoniales ou familiales ou d'"invitations" rémunérées. On observe aussi des groupes de solidarité, le plus souvent par classe d'âge (groupes de jeunes, de femmes...), mais ils n'ont pas généralement de rôle dans une gestion des ressources, si ce n'est de leur propre force de travail. Enfin, une dîme est due aux chefs et aux anciens.

Peut-on voir dans cette organisation villageoise les indices d'une gestion collective des ressources du terroir et de la recherche d'une efficacité ? Ne doit-on pas plutôt la considérer comme un processus de régulation sociale qui jouerait sur le lien religieux entre la société villageoise et son environnement ?

Cette discipline agraire s'est en tout cas dégradée. La densification démographique et la monétarisation de l'économie ont fait évoluer les "terroirs de quartier". Le champ de quartier a été morcelé, au profit de segments de lignage, en champs collectifs familiaux. Les champs exploités individuellement ou en association d'individus (champs de groupements) se sont multipliés. Pourtant, l'efficacité de la culture sur champs individuels est réduite du fait de la priorité au champ collectif d'une part, de l'absence de la synergie de groupe qui caractérise habituellement les équipes familiales de travailleurs d'autre part. Les friches, terres communes et parcours se raréfient. Les interdits tombent en désuétude. Le rôle du chef de terre est réduit à celui d'un arbitre foncier ou d'un pourvoyeur de terres pour les immigrants. Dans certaines situations, concernées par des projets exogènes ou par une influence islamique forte, on peut observer de nouvelles formes d'organisation : regroupement de cultures commerciales par soles par exemple (cas du pays sereer au Sénégal), chantiers collectifs ; mais on voit souvent l'intérêt individuel et immédiat primer dans ces situations, rarement l'intérêt à long terme de l'ensemble social.

L'individualisation de l'organisation pourrait s'accompagner d'inégalités d'accès à certaines facettes plus ou moins favorisées par une suralimentation par ruissellement en période de sécheresse, et donc d'une inégalité face au risque hydrique. En fait, les zones de cuvettes et bas-fonds sont la plupart du temps contraignantes (inondations, crues torrentielles, enherbement rapide, sols argileux lents à s'humecter et difficiles à travailler), ce qui empêche tout monopole d'exploitation : une famille de cinq actifs peut difficilement cultiver correctement plus d'un hectare de bas-fond et prête généralement les terres en surplus à d'autres familles. Seuls les terrains où

vient le sorgho de décrue, comme sur les fleuves (LERICOLLAIS et SCHMITZ, 1984) et les karal, vertisols cultivés du Nord-Cameroun, représentent des enjeux très importants, et sont marqués de modes d'appropriation parfois très inégalitaires. C'est leur régime hydrique particulier et leur fertilité qui leur donnent cette valeur.

Dans les zones méridionales, la possession des bas-fonds est souvent le fait de groupes sédentaires forts (chefferies, maîtrises de terre, descendants des premiers occupants). Ils avaient ainsi un accès privilégié à certains arbres fruitiers et à des terres chimiquement plus riches et convenant au riz, au sorgho rouge, au cotonnier, aux cultures festives, artisanales et commerciales, mais ne conduisant pas nécessairement à une plus grande sécurité alimentaire.

Dans les régions les plus sèches, les bas-fonds étaient peu cultivés jusqu'aux dernières sécheresses et réservés au pâturage de début de saison des pluies et à la cueillette de grains sauvages. Il n'y avait pas d'appropriation foncière. Ce n'est que récemment que ces terrains ont pris une valeur de sécurité avec la culture du sorgho qui s'y généralise et que les éleveurs en sont peu à peu exclus (MILLEVILLE, 1990).

De ce qui précède, il ressort que le "paysage hydrique" de surface n'est qu'indirectement, localement ou seulement récemment devenu l'objet d'enjeux sociaux au Sahel ou de pratiques collectives de gestion.

Les grands thèmes techniques

■ Valorisation de l'eau par intensification

Dans les idées qui prévalent actuellement, mieux gérer la ressource en eau reviendrait à miser sur l'intensif (accroître le rendement par une accumulation de travail et de capital) et l'homogène (culture attelée, fertilisation organique et minérale), quitte à réduire parfois la productivité du travail (aménagement de bassins versants à haute intensité de main-d'œuvre, travail de la matière organique). S'ils ne sont pas encadrés par une structure partageant les risques avec eux (cas des filières agro-industrielles, de certains projets d'aide exogènes), les paysans préfèrent de beaucoup l'extensif et l'hétérogène quand l'espace est suffisant, car ils doivent gérer le risque hydrique eux-mêmes sur un milieu le plus souvent usé et au moindre coût monétaire, avec une main-d'œuvre limitée qu'il faut motiver par une meilleure rémunération, donc accroître la productivité. Lorsque l'espace est fini, la migration est préférée à l'intensification. La mauvaise qualité de la terre, le risque climatique, le rapport du prix du produit au coût de l'intensification font que les tentatives d'intensification, si on en trouve, répondent souvent à d'autres finalités que l'accroissement de la productivité du travail ou du capital (sécurisation de la production annuelle, affirmation d'un droit foncier, relation avec un projet, refus de la migration).

■ Gestion collective du terroir

La gestion collective des ressources en eau des "terroirs" actuellement préconisée (entre autres à travers la réalisation et l'entretien d'équipements collectifs permanents) ne peut que faiblement s'appuyer sur un ensemble vivant de pratiques sociales de coopération pour la production et est entravée par une organisation foncière ancienne et rigide mais, heureusement, non toujours directement interprétable comme système d'appropriation de l'eau. Cela laisse donc une chance aux aménagements du ruissellement, dans l'environnement des parcelles individuelles, et aux contrats d'usage fonciers. Quant au renforcement de la coopération à l'intérieur du groupe lignager, cette idée va à contre-courant de la tendance obser-

vée à l'individualisation des activités. Le développement du mode associatif, considéré comme un atout pour l'appropriation sociale d'un système d'irrigation et encouragé par les organismes de développement, ne serait pertinent que s'il était mené de manière à ne pas entraver, mais au contraire compléter, l'économie familiale de subsistance, qui reste fondée sur les cultures pluviales et l'élevage pastoral.

Deux points de vue s'affrontent donc ici : le premier, externe aux sociétés sahéliennes le plus souvent, est celui de la mise en valeur ; l'eau y est un facteur consommable, dont on cherche à accroître l'efficacité grâce à une artificialisation du milieu qui nécessite généralement (sauf cas particulier de la décrue et de l'arrosage individuel) une coopération sociale, une capitalisation, des connaissances élaborées, des consommations intermédiaires (intrants et services), avec une rentabilité limitée hors encadrement économique. Le second est celui de la gestion du risque hydrique au champ : c'est le point de vue des paysans sahéliens.

L'eau comme facteur consommable de production : l'arrosage et l'irrigation

L'irrigation : une innovation exogène et sociale

Définissons ici l'irrigation comme une pratique d'arrosage impliquant une organisation sociale. Si on définit une société hydraulique comme une société organisée en vue de maîtriser collectivement la fourniture d'eau à des cultures, on peut dire que, à l'exception des cas de gestion de terres de décrue, les sociétés d'agriculteurs sahéliens sont éloignées de ce modèle. Les systèmes d'irrigation, définis par les formes de coopération existant sur un espace hydrauliquement aménagé, dans le but de produire et distribuer de l'eau d'irrigation à des parcelles (SABATIER, comm. pers.), n'ont pas vu le jour au Sahel. Pourtant de tels systèmes existent ailleurs en Afrique Noire (Sahara, Casamance...) et la gestion collective des points d'eau est courante dans les sociétés pastorales sahéliennes.

Il existait sans doute au Sahel des facteurs défavorables à l'émergence de telles sociétés : rareté des ressources en eau à régime stable, insuffisance de systèmes extensifs (cueillette, cultures pluviales ou de décrue, élevage pastoral transhumant); les conditions du transfert ont peut-être été réunies avant la période coloniale (existence de régimes politiques centralisés qui apparaît souvent comme une des conditions nécessaires de l'irrigation, contacts avec la civilisation arabe) mais pas les conditions de reproduction de ces systèmes (relation particulière à la nature, système social Ilgnager et mode de vie faiblement sédentaire des sociétés sahéliennes). L'irrigation relève donc de l'innovation sociale au Sahel. Elle ne peut être que le fruit d'un apport exogène aux paysanneries, les entraînant dans un autre mode d'organisation.

Les grands périmètres irrigués : des objectifs ambigus

Cette pratique d'aménagement des grands bassins fluviaux sahéliens, organisée à l'échelon national depuis l'époque coloniale, a nécessité la réalisation de grands travaux (barrages de régulation, canaux, systèmes de casiers) et la création d'ins-

titutions fortes. Mais les "sociétés hydrauliques" ainsi constituées sont loin d'être reproductibles. Ce défaut et le décalage généralement constaté entre les objectifs assignés et les résultats obtenus donnent lieu depuis plusieurs années à une remise en question de ce type d'intervention. Diverses analyses ont dévoilé les problèmes qui en étaient à l'origine (séminaire de Montpellier, 1986 ; séminaire de Harare, 1988).

■ Objectifs nationaux et objectifs paysans

La logique de mise en valeur des ressources en terre irrigable qui résulte des objectifs nationaux ou de rentabilité d'investissements a largement tendance à prévaloir sur celle qui résulte des objectifs des paysans. D'où les contradictions suivantes :

- contradiction entre les objectifs du projet (autosuffisance alimentaire nationale et rentabilité de l'opération) et ceux des paysans (gestion du risque et valorisation des moyens de production réellement contrôlables) ;

- il est proposé une monoculture très intensive monopolisant travail, espace et intrants alors que la pluriactivité est indispensable aux paysans dans une logique économique antirisque (élevage d'épargne, cultures extensives en sec, jardinage, activités secondaires) ; en cas d'échec dans l'application de cette contrainte, une autre contradiction surgit : la recherche d'une rentabilisation de l'hectare aménagé alors que l'agriculteur vise celle du temps de travail sur l'exploitation globale ;

- incapacité des projets à fournir un environnement sans risques (fourniture de l'eau, lutte contre les ravageurs, fournitures d'intrants, débouchés et prix rémunérateurs) nécessaire à la réussite de l'intensification ;

- mise en place d'un milieu contraignant qui n'accorde aucune place à l'adaptation et l'initiative et qui se veut aussi milieu de vie.

■ Echec de la révolution sociale

Celle-ci n'est ni explicitée, ni formalisée sur un plan juridique, ni peut-être imaginée, alors qu'elle fournirait les conditions de reproduction de l'irrigation. Il s'ensuit les détournements de fonctions, la résistance aux mots d'ordre, voire les déprédations. Les principaux conflits de logiques sociales trouvent leur origine dans :

- la conservation du contrôle sur le foncier par l'Etat, empêchant toute gestion autonome à long terme ;

- la juxtaposition d'un aménagement à contenu social normatif (attribution égalitaire du foncier, transgression des anciens pouvoirs et rôles, agressions du mode de vie) à une réalité sociale préexistante complexe et hiérarchisée, régie par de multiples systèmes de sens et d'aspirations, et formée de groupes rivaux et complémentaires ;

- la difficulté de gestion de la main-d'œuvre familiale en dehors des pratiques de subsistance liées aux rapports de production traditionnels.

■ Facteurs techniques

Les principales causes sont :

- la course technologique exigée par l'intensification, qui impose un mode de vulgarisation très normatif fonctionnant par mots d'ordre successifs ; il entrave la prise en compte de la diversité et l'acquisition d'un véritable savoir-faire local ;

- des difficultés pratiques de gestion de la fertilité au sens large, suite à la mauvaise rentabilité globale et au coût élevé des amendements et de la technologie au Sahel : salinisations et acidifications, pression des ravageurs et de l'enherbement,

appauvrissements, tassements structuraux, dégradation des canaux, du planage, du drainage...

■ Les atouts des aménagements périurbains

Le fossé est trop profond entre la vision des aménageurs et les aspirations et possibilités des paysans irriguants et le coût social trop élevé. Pour l'anthropologie, *"il y a un vide à combler, dans les systèmes de représentation et les modes de penser les politiques de l'eau, entre les modes autochtones et ceux introduits par l'Occident"* (LE ROY, 1985). Les périmètres irrigués périurbains sembleraient mieux fonctionner. Ils rassemblent en effet de nombreux atouts : terre rare incitant à l'intensification, principes de gestion mieux connus des entrepreneurs urbains, capacité d'investissement endogène, proximité du marché et du pouvoir politique et administratif, individualisme économique ou, au contraire, organisations rigoureuses, telles les associations de jeunes et les confréries religieuses, main-d'œuvre abondante et bon marché, nouveaux rapports de production familiaux. Le métissage socioculturel urbain n'est-il pas aussi un atout supplémentaire dans la capacité d'acceptation d'un ensemble technique et organisationnel d'origine exogène ? L'irrigation n'apparaît-elle pas issue fondamentalement d'une logique urbaine ?

■ Adapter les aménagements aux besoins des sociétés rurales

Il est conseillé aujourd'hui d'adapter cet ensemble aux sociétés rurales qui acceptent d'entreprendre l'irrigation. Les conclusions des derniers colloques sur l'irrigation prônent d'inverser la relation habituelle "producteurs au service d'un périmètre", c'est-à-dire que la forme prise par l'aménagement découle d'initiatives locales. Celles-ci seraient ainsi plus en accord avec les systèmes de production et de représentations, et les principes d'organisation établis, que les interventions de type "génie rural", où technique et société sont prises en considération mais l'une après l'autre.

La proposition faite par plusieurs auteurs (DIEMER et VAN DER LAAN, 1987 ; BELLONCLE, 1988) est que la sociologie puisse être mise au service de la conception des aménagements, au même titre que les disciplines qui trouvent habituellement leur application dans le génie rural. Pour les uns (DIEMER et VAN DER LAAN, 1987 ; RUF, 1986 ; LE ROY, 1985), il s'agit d'adapter les aménagements hydrauliques à la société : caler la maille hydraulique sur l'organisation paysanne, adapter les techniques de maîtrise de l'eau à des espaces intermédiaires (petites retenues, canaux, digues ou drains "structurants") ou rechercher des techniques d'interface ("sakkia" égyptienne, pompage diesel) pour qu'elles soient réalisées à la demande et puissent offrir des possibilités variées d'adaptation aux systèmes de production et d'appropriation foncière. Pour d'autres, l'adaptation proposée est avant tout un problème de communication sociale. BELLONCLE (1988) suggère ainsi que le mode associatif et l'usage des langues locales dans la gestion deviennent la règle dans tous les domaines : la gestion de l'eau et l'établissement des redevances, l'aménagement et la gestion du foncier, les approvisionnements, l'épargne et le crédit, la commercialisation ainsi que la formation. C'est au sein de tels groupes mutualistes stables que sera assurée la régulation sociale. Mais cette idéalisation n'oublie-t-elle pas que les sociétés sahéliennes sont inégalitaires et que les groupements de producteurs sont généralement l'objet d'enjeux qui les dépassent ?

Quant aux aménagements déjà anciens, l'amélioration de l'efficacité de l'espace irrigué se heurte à un obstacle de taille : l'enjeu foncier. La relance de ces systèmes par la modernisation des réseaux, la réhabilitation des terrains suffiraient-elles s'il n'y avait pas en même temps des garanties sur la pérennité des droits, une redistribution des responsabilités et une prise en compte des options des irriguants ?

Il faudrait aussi sécuriser l'approvisionnement en eau, permettre la croissance de l'exploitation en l'accompagnant par un accès à de nouvelles terres et aux facteurs de modernisation, assister la structuration des organisations.

L'arrosage des cultures de contre-saison

Elles ne relèvent pas partout de l'innovation car elles sont pratiquées certainement depuis longtemps (au moins le XIV^e siècle pour la culture de l'oignon à proximité des villes du bassin du Niger, où existaient des quartiers arabes et berbères). Mais c'est la monétarisation de l'économie et l'urbanisation qui ont répandu le maraîchage de saison sèche au cours du XX^e siècle. Le maraîchage s'inscrit donc dans une tradition technique ancienne tout en occupant une place à part dans le système de production (RAYNAUT, 1989) : à la fois au sein des terroirs et également dans les rapports sociaux et les représentations.

Les jardiniers exploitent de petits aquifères localisés et peu profonds au moyen de pulsards et de systèmes d'arrosage plus ou moins sophistiqués et diversifiés (RAYNAUT, 1989) appliqués à une petite parcelle clôturée : des nappes d'infiltration dans les bas-fonds, des nappes phréatiques de plaines inondables, des sources et des nappes d'altérites (raréfiées par la sécheresse), ou bien directement des réservoirs artificiels (pays dogon, barrages périurbains).

Ce maraîchage intensif nécessite une satisfaction totale des besoins en eau, de 0,5 à 1 m³/are/jour. Il est associé généralement à des vergers (manguiers et goyaviers) qui jouent un rôle important dans la limitation de l'ETM et de la température. La période de culture est limitée en saison des pluies par des problèmes sanitaires et la concurrence des travaux des champs, en saison sèche par la haute température dès le mois d'avril, sauf pour certaines cultures plus résistantes (tabac, manioc, piment...). La spécialisation géographique peut être un atout car elle s'accompagne d'échanges de connaissances techniques entre producteurs, d'une part, et permet un meilleur contrôle de la filière de commercialisation d'autre part (pomme de terre et chou à Ouahigouya, haricot vert à Kongoussi, oignon à Bandiagara, aubergine dans certains villages du Yatenga).

De nouvelles techniques sont mises en œuvre. Elles varient suivant les moyens des maraîchers et les influences qu'ils subissent dans les domaines de l'exhaure (pompes manuelles, motopompes aspirantes à deux temps pour les nappes peu profondes, pompes électriques immergées avec groupe électrogène collectif pour l'exhaure profonde), de la distribution (culture en planches, irrigation à la raie, réseaux enterrés et réservoirs type "Gandiolais"), de la conduite de la culture (composts, mulchs, produits phytosanitaires, rythme de l'arrosage), de la phytotechnique (greffage, pinçages, ombrage des pépinières), des techniques de conservation des produits (séchage, conservation des semences).

Pour le stockage de l'eau, la difficulté est de prolonger la vie des aquifères peu profonds, qui tarissent plus ou moins tôt en saison sèche. L'inconvénient des retenues habituelles est d'occuper un espace excessif en saison humide et souvent de ne pas prolonger suffisamment la durée de vie des aquifères. Des voies de recherche portent sur la réduction du coût d'investissement dans les techniques des barrages souterrains, de recharge des nappes, des citernes de grande contenance et le contrôle de l'évaporation de nappes d'eau libre.

Le petit maraîchage était une activité pratiquée souvent individuellement, en dehors du cadre familial, le plus souvent par des hommes ; il n'avait pas la dimension religieuse des cultures céréalières d'hivernage et était donc considéré comme un métier, proche du commerce. Une certaine organisation pouvait exister avec un

chef des jardins ou des puits (RAYNAUT, 1989). Avec la relance récente du maraîchage par les politiques d'autosuffisance alimentaire, l'association de petits groupes de producteurs (jeunes, femmes...) est le mode d'organisation généralement prôné pour le développement de cette activité et une meilleure stabilité de l'innovation (gestion mutualiste, responsabilité de la pompe et de l'enceinte, partage de l'eau et de l'espace cultivable, médiation avec les circuits d'approvisionnement et de commercialisation ainsi qu'avec les organismes de financement et d'animation...). Ce type d'organisation n'est pas seul à être efficace : on voit parfois fonctionner des modes d'organisation de type "entreprises familiales" (fonctionnaires et commerçants urbains) voire féodal (chefferies rurales).

Les cultures irriguées par récolte de ruissellement en hivernage

En association avec le développement de techniques de stockage d'eaux de surface, se développe le concept de "cultures contre-aléatoires d'hivernage" (BONFILS, 1987 ; DUGUE, 1986). Le but est de promouvoir sur de petites superficies l'intensification de céréales (association maïs/haricot, riz) avec un objectif de rendement élevé, ou des légumes d'hivernage (gombo, aubergine...). Mais cette proposition se heurte à la contradiction suivante : si une telle pratique est envisagée à l'échelle de l'exploitation familiale, elle est peu compatible avec le travail prioritaire dans les champs pluviaux, porteurs de sécurité et de tradition. A court terme, il serait difficile de mobiliser la main-d'œuvre familiale pour le forage des puits ou la construction du réservoir, puis l'irrigation. S'il faisait appel à la main-d'œuvre salariée ou à une technologie importée, le chef d'exploitation devrait supporter des coûts monétaires importants (creusage des citernes ou puisards, matériel d'arrosage, fertilisants), ce qui est difficile pour les groupes qui ont besoin de sécurité vivrière. Quant aux exploitants aisés, ils préfèrent investir dans le bétail, le commerce ou les engrais. Ne faut-il pas plutôt parler de "jardin d'hivernage" ? Il serait nécessairement géré individuellement ou en association d'individus, mais subirait les mêmes contraintes que les champs dits individuels (manque de temps, retards dans les travaux, absence d'investissements).

Une approche de plus en plus fréquente dans les disciplines du génie rural consiste à concevoir les ruissellements qui succèdent aux pluies comme une ressource valorisable par l'irrigation (KLEMM et SCHRAMM, 1988). De telles recherches sur la ressource en ruissellement (runoff), les méthodes de récolte de l'eau (water harvesting), les méthodes d'épandage des eaux et les systèmes de culture liés (runoff farming) ont été essentiellement développées dans les zones arides de pays développés (Etats-Unis, Australie, Israël), souvent en dehors du cadre d'un petit paysannat. Ces pratiques qui requièrent souvent un investissement important et une organisation rigoureuse pour l'entretien du dispositif et la conduite de l'irrigation ne manquent certes pas d'intérêt, mais elles ne pourraient être appropriées et réellement valorisées dans le Sahel que si leurs caractéristiques permettaient avant tout une amélioration des systèmes de production existants, qui sont, comme on l'a vu, éloignés d'une logique d'irrigation collective.

Certains programmes d'agroclimatologie (FRANQUIN et SICOT, 1986) développent le concept d'irrigation de sécurité, afin d'optimiser la conduite d'une culture en conditions climatiques aléatoires et lorsque l'eau d'irrigation est coûteuse. Cette approche récente, qui seule permettrait l'intensification en échappant aux risques climatiques majeurs, est basée sur une modélisation des probabilités de périodes sèches. Elle n'a pas encore trouvé d'application dans les systèmes de production sahéliens, pour les mêmes raisons qu'évoquées précédemment.

La valorisation des grands aquifères

Les difficultés du stockage de l'eau et le gaspillage de terres qu'il entraîne par submersion amènent à considérer l'utilisation des ressources en eau souterraines comme une alternative possible non seulement pour des cultures de contre-saison, mais aussi pour une irrigation de complément sur des cultures intensives d'hivernage.

On reconnaît deux ensembles de formations aquifères au Sahel. Il y a d'une part le socle précambrien (schistes, grès, roches cristallines): les débits les plus intéressants s'observent dans les fissures de la partie supérieure de la roche saine, ou dans les arènes à la base de la couche d'altération. Bien que les niveaux statiques soient généralement peu profonds, les débits exploitables sont ponctuellement faibles, dépassant rarement 10 m³/h (soit 5 ha irrigables). Il y a d'autre part les formations sédimentaires localisées. Elles se répartissent en grands bassins (Sénégal, Mauritanie, delta central du Niger, bassin nigérien, Tchad...). Ces formations contiennent généralement des aquifères continus, localement en charge, de productivité très variable (10 à 100 m³/j par mètre de rabattement). Ces nappes sont profondes mais la charge remonte le niveau statique. Les possibilités d'utilisation de ces aquifères dépendent du renouvellement de la ressource, de sa qualité et de la réserve exploitable. La recharge annuelle de la nappe ne dépend pas que de la "pluie efficace" des hydrogéologues mais surtout des caractéristiques des terrains traversés et du substrat de l'aquifère.

Les travaux du CIEH-BRGM ont permis des évaluations précises de ces paramètres (carte de planification des ressources en eaux souterraines du CIEH, 1976). La réserve exploitable représente un volume d'eau emmagasiné dont l'exploitation conduirait à une vidange partielle de la réserve. Partant de la minéralisation totale de l'eau exprimée par sa conductivité d'une part, son taux d'absorption du sodium d'autre part, le CIEH a aussi défini des degrés d'aptitude à l'irrigation, qui permettent de raisonner l'adéquation entre la qualité de l'eau, la perméabilité et salinité d'un sol et la tolérance d'une culture. Des zones privilégiées pour l'irrigation à partir des eaux souterraines ont ainsi été isolées (eau admissible à excellente, productivité par ouvrage d'au moins 550 m³/j, soit 8 ha irrigables, coût du m³ réduit).

Si la ressource semble fort bien connue, en est-il autant des systèmes de production qui seraient susceptibles de la valoriser, avec les exigences de rentabilité et de sécurité ? Plutôt que les systèmes de culture ruraux, l'aménagement des grands aquifères concerne sans doute plus la fourniture d'eau domestique et pastorale, les grandes pépinières, les systèmes maraîchers périurbains et les centres d'apprentissage agricole.

L'amélioration de la gestion du risque hydrique au champ

On a vu, dans une première partie, que l'exploitation de différents espaces, pourvus de régimes hydriques contrastés ou de fertilité variée, participe de cette gestion du risque. C'est, en outre, au sein même des différents systèmes de culture qu'il est possible de faire intervenir des innovations touchant les termes du bilan d'eau : ruissellement, drainage, adaptation au cycle humide et aux risques de périodes sèches, évaporation et stockage. On peut considérer que ces innovations ont un faible coût social en comparaison de celui de l'irrigation sur une base collective.

L'adaptation au cycle pluvieux

Au Sahel, la technique des semis de la céréale vivrière est la suivante. Dès que le sol est humecté sur 15 cm, le mil est semé en poquets puis on corrige le peuplement par de multiples ressemis, repiquages, démariages. La qualité du semis est néanmoins limitée par l'état d'humectation de la terre et la quantité et la qualité de la main-d'œuvre qui valoriseront au mieux l'état optimal du sol, très fugace. La réussite des levées et de la croissance au départ conditionne en grande partie l'enracinement rapide et les chances de la culture. Compte tenu de l'étalement nécessaire de ces semis et des risques de semis tardifs, on note deux stratégies principales :

- exploiter une variété photopériodique, donc à semis échelonnable (cas du Yatenga pour le mil) ;
- jouer sur deux variétés, l'une précoce et l'autre tardive (cas du Sénégal pour le mil: variétés Souna et Sanio).

Depuis les années 1965-70, en Afrique de l'Ouest, les caractéristiques fréquentielles du cycle pluvieux sahélien ont changé (BOULIER et JOUVE, 1990): bien que toujours aussi irrégulier ($cv = 10\%$), le début de la saison (à P décad. > ETP décad./2) accuse un retard de 10 jours à l'ouest, 5 jours à l'est. La fin de saison, généralement plus régulière ($cv = 5\%$), apparaît une dizaine de jours en avance (Sénégal, Niger) mais sans changement au Burkina Faso et au Mali. Quant aux quantités pluviométriques, elles accusent des baisses conséquentes: 100 à 200 mm suivant les lieux, soit 20 à 35 %. Si le risque de décades sèches successives était déjà élevé avant 1970 (une année sur quatre), il s'est fortement accru, en particulier en début et en fin de cycle. La durée moyenne des périodes sèches a augmenté elle aussi. Le risque de périodes humides pouvant maintenir un engorgement des sols à mauvais drainage a diminué mais persiste. Le risque de mauvaises conditions de fructification a augmenté.

Si, dans le domaine de l'arachide, les conditions sèches de fin de cycle posent surtout un problème de récolte, dont une solution est l'emploi d'une souleveuse attelée, c'est le retard du début de saison qui pose problème pour les céréales.

Ce retard a conduit les paysans sénégalais à abandonner pratiquement le mil de 120 jours, et à rechercher des variétés précoces. Le mil est semé en sec à l'aide d'un semoir attelé mais cette pratique peut entraîner de mauvaises levées dans certains sols battants (encroûtements et absence de l'effet synergique du poquet). En revanche, au Mali comme au Burkina Faso, les variétés photopériodiques conviennent toujours, mais les cultivars auraient tendance à "descendre" vers le sud. Les céréales étant semées manuellement en l'absence d'une culture commerciale justifiant de s'équiper d'un semoir, les paysans refusent souvent ce qui retarde les semis (façons culturales préliminaires, semis en ligne), les réservant aux champs semés en retard et donc enherbés. Au Yatenga, pour accroître les chances de mise en place rapide, les paysans reprennent une ancienne technique de piochage et de fumure localisée (zaï) du sol en saison sèche, notamment sur les terrains plus argileux, encroûtés, érodés ou simplement durcis. Ces poches piègent des sables et des résidus (feuilles) et s'humectent facilement, ce qui attire certains termites qui restaurent une porosité ouverte dans les horizons compacts. Ce travail en sec pourrait être adapté à l'attelage au moyen d'un pic fouilleur, dans les terrains ni trop sableux, ni trop compacts (DIPAMA, 1987) et pourrait être complété avec un paillage. Mais la qualité de celui-ci est importante. Un champ recouvert de résidus de récolte épars se couvre vite d'herbes et de "mil hybride". En revanche un paillage fin, dense et localisé au poquet peut efficacement le protéger de la dessiccation rapide, des hautes températures et de la compétition. Les paillages posent bien sûr le

problème de la concurrence entre diverses utilisations de résidus de récolte ou de chaumes dans le système de production. Les travaux préliminaires requièrent cependant la mobilisation de la main-d'œuvre familiale en saison chaude et, bien sûr, la protection de levées précoces contre des animaux divaguants. Le coût social de telles innovations n'est donc pas à négliger.

La résistance physiologique à la sécheresse

En comparant différentes variétés de mil, on a découvert des variations dans l'équilibre hydrique des plantes. Certaines variétés du Nord garderaient leurs stomates ouverts jusqu'à des potentiels hydriques du sol plus forts (en valeur absolue), et pourraient donc photosynthétiser en conditions plus sèches. D'autres spécificités variétales, la tolérance des membranes, l'accumulation glucidique, peuvent jouer un rôle supplémentaire dans l'adaptation à la sécheresse. Des critères d'ordre tactique peuvent également intervenir, tels que la sensibilité lors de certaines phases (capacité à conserver des talles fertiles malgré une sécheresse au tallage et à la montaison, à assurer la translocation des photosynthétats, à renouveler un enracinement profond), voire des stratégies encore plus complexes.

De tels critères sont actuellement utilisés pour l'amélioration variétale. Le problème reste de retrouver dans les cultivars sélectionnés l'ensemble des qualités requises par ailleurs par les paysans, sous peine de refus (rusticité, qualité du grain et des pailles...). On peut associer à ce type de recherches celles portant sur les facteurs chimiques du sol, qui pourraient jouer un rôle dans la résistance à la sécheresse, et justifier ainsi des amendements. Il s'agit de certains oligo-éléments tels le bore et le chlore, des macro-éléments tels que le potassium ; à l'inverse l'azote en excès accroît la sensibilité. D'autres substances absorbées par les racines modifient le comportement des stomates: certains humus, certaines substances extraites des lichens, dont l'acide usnique, auraient des propriétés "anti-transpirantes" (CARBONNIER et LAFFRAY, 1986). Il n'y a pas encore d'application certaine pour les systèmes de production sahéliens, si ce n'est dans le domaine de la plantation d'arbres.

Le stockage, le drainage et l'évaporation du sol

Les sols sahéliens peuvent se répartir entre quatre grandes catégories sur le plan hydrodynamique.

■ Sols très sableux et profonds (moins de 5 % d'argile + limon)

Ils sont homogènes, très perméables (type dieri du Sénégal). Leur grande conductivité hydraulique à tout taux d'humidité en fait des sols à faible capacité de rétention: l'infiltration est facile, mais le ressuyage gravitaire trop rapide, et la réserve utile trop faible (40 mm/m). Ces sols perdent trop d'eau par drainage, mais peu par évaporation. Idéaux pour une irrigation au goutte-à-goutte, seules de grandes profondeurs d'enracinement peuvent les valoriser en culture paysanne (mil, arboriculture). Il existe des spécialités chimiques nommées "hydro-rétenteurs" qui peuvent accroître la capacité de rétention de sols très sableux. Leur application n'est guère envisageable dans le domaine cultural, mais est possible en arboriculture. L'accroissement du taux de matière organique de ces sols n'accroît pas significativement la réserve utile mais l'hydrodynamique change sous culture (effet de l'enracinement). Ils sont très sensibles à l'érosion éolienne.

■ Sols sableux (A + L : environ 10 %)

C'est le type sénégalais *dior*, fréquent en Afrique soudano-sahélienne. Parfois battant en surface, assez hétérogène latéralement, il est aussi moins perméable ; la réserve utile atteint 80 mm/m ; la percolation est parfois limitée en profondeur par des horizons d'accumulation moins poreux et plus argileux ou par une carapace, auxquels les racines n'ont pas accès. Ils évaporent peu (effet de "self-mulch" à l'état sec), restituent bien l'eau mais ont une capacité d'échange cationique réduite. Ils sont un atout certain pour une culture pluviale manuelle ou attelée extensive. Ils sont sensibles à la fois à l'érosion éolienne et hydrique.

■ Sols sablo-argileux (A + L > 20 %)

Ces sols ont une bonne capacité de rétention et une importante capacité d'échange cationique, en particulier lorsqu'il s'agit de sols bruns dérivés de roches basiques. Leur surface s'encroûte facilement et ils durcissent en saison sèche et se fissurent ; mais, de par leur position basse dans le paysage, ils sont concernés par une suralimentation hydrique sur les passages d'eau. Ils deviennent alors très hétérogènes latéralement (zones à humectation lente, à surface d'apparence colmatée, juxtaposées à des zones très humides voire hydromorphes). Ces sols doivent être particulièrement protégés de l'érosion, leur structure améliorée (travail du sol en sec ou en humide avec matière organique, activation de la mésofaune par des pratiques de paillage et de fumure en fin de saison sèche, façons superficielles fréquentes). L'excès d'eau doit pouvoir s'évacuer pendant les pluies par drainage externe, faute de perméabilité et de porosité suffisantes en profondeur. Ils peuvent stocker beaucoup d'eau (120 mm/m), mais contiennent aussi de l'eau non récupérable par les racines. Ces sols perdent beaucoup par évaporation (fissures, faible "self-mulching") sauf si l'état de surface rompt la capillarité et réduit la température (rôle d'un mulch localisé, du sarclage, de cultures intercalaires couvrantes).

■ Sols argileux (vertisols)

Ils sont caractérisés par une grande capacité de fissuration mais présentent souvent une chute de la porosité à la réhumectation, donc une grande aptitude au ruissellement et par suite à l'érosion, imposant ainsi des aménagements de surface (casiers, mulching). Les meilleures conditions culturales sont parfois repoussées au début de la saison sèche, lorsque la fissuration aérant le sol permet l'enracinement du sorgho de décrue (BOUKHAR, 1990).

Dans les sols à texture fine et conductivité hydraulique faible, tout ce qui améliore la structure donc l'exploration du sol par les racines est facteur d'une meilleure utilisation du stock : travail du sol en bonnes conditions, porosité, teneur en humus, fertilisation minérale et variété adaptée (SOME, 1990 ; NICOU *et al.*, 1987). En revanche, dans les sols à grande conductivité hydraulique, le "mass flow" important et l'exploration racinaire dense peuvent justifier l'absence de travail du sol.

L'évapotranspiration

Ce terme est le plus important en flux sortant, mais paradoxalement il n'est encore pas très bien connu (rôles respectifs des énergies d'advection et du rayonnement net dans l'expression de ETM, poids de la densité et de l'architecture du couvert, répartition des pertes en eau entre évaporation du sol et transpiration, rôle des conductivités hydraulique et thermique des horizons superficiels et des mulchs...).

Les besoins globaux des cultures sont connus mais leur utilisation dans des modèles de simulation du bilan hydrique n'a été réellement testée que pour des systèmes de culture optimisés (sols enrichis, besoins minéraux satisfaits, entretien optimal). Les découvertes dans le domaine des antitranspirants stomatiques pouvant repousser les limites du flétrissement n'ont pas encore trouvé d'application au Sahel. Le mulching est la technique habituellement préconisée. Il réduit l'évaporation et la température d'un sol humide. Il faut souligner que le bilan n'est pas meilleur qu'un sol nu après quelques jours de sécheresse, ce qui n'ôte rien à son intérêt toutefois (évaporation constante sous paillage, évaporation dégressive en mode "self-mulch").

Les tendances à l'individualisation de l'activité et à la précarisation du foncier (champs souvent prêtés) rendent secondaires les anciennes pratiques de contrôle de l'évaporation (cultures associées et complantation d'arbres). L'aménagement de brise-vent organisés exige une coopération sociale, comme l'irrigation, ce qui implique le même investissement social exogène et donc les mêmes changements sociaux à moyen terme. Seule la relance du reboisement individuel des champs exploités par leur propriétaire peut réellement être envisagée à court terme, à condition que l'ensemble du groupe familial de production y adhère et que soit trouvée une réponse au problème de la divagation du bétail (protection des arbres, gestion collective des troupeaux, mise en défens).

Les eaux de surface

Il a fallu attendre le développement des mesures sous pluies simulées (fin des années 70) pour mettre en évidence l'influence déterminante des caractéristiques de surface des sols sahéliens naturels sur leur aptitude au ruissellement (CASENAVE et VALENTIN, 1989 ; COLLINET, 1988). Les organisations pédologiques internes peuvent être des facteurs indirects, les sols à mauvais drainage favorisant un effondrement structural superficiel. Le taux de couverture végétale, l'activité faunique et les organisations de surface expliquent l'essentiel des variations du coefficient d'infiltration mesuré sous pluies simulées.

■ Les caractéristiques de surface des sols cultivés

En milieu cultivé, donc à état de surface temporairement entretenu, il faut ajouter le taux d'humidité, la structure et la conductivité hydraulique des horizons de surface (discontinuités, teneur en argiles, état de la fissuration), la capacité de rétention et le modelé comme conditions de ruissellement à relier à l'intensité de l'averse. Sauf lorsqu'il est très concentré, le ruissellement apparaît comme un processus mineur de l'érosion par arrachage de particules à l'échelle du champ. L'arrachage est dû à l'impact des gouttes de pluie avant tout. Le ruissellement est en revanche responsable du transport des matériaux mobilisés, et ce d'autant plus que l'écoulement est turbulent.

C'est au processus de réorganisation superficielle conduisant à la formation de croûtes que l'on doit les principaux obstacles à l'infiltration. Les conditions de leur formation commencent à être connues (CASENAVE et VALENTIN, 1989). Il y a des conditions internes liées à la stabilité structurale, à la composition granulométrique, à la nature minéralogique et à la garniture ionique de la phase argileuse, au statut organique, au taux d'argile et à l'aptitude à la fissuration. La pente n'intervient pas à l'échelle élémentaire (1 m²), mais beaucoup plus à petite échelle où l'on observe l'accroissement du ruissellement sur formes convexes. Il y a aussi des facteurs externes. Les principaux sont représentés par l'agressivité des pluies, très forte au

Sahel (fortes intensités associées à des gouttes de grande taille), le mode d'irrigation, l'état hydrique du sol (effets néfastes des états extrêmes), la vitesse d'humectation et la dessiccation, l'histoire hydrique, enfin la couverture du sol (litière et éléments de protection proches du sol). Parmi les agents de transformation et de distinction des croûtes, outre la pluie et l'agriculteur, citons les termites, soit promoteurs de croûtes par effondrement de leurs nids épigés (croûtes d'érosion), soit destructeurs de croûtes sur leurs aires de récolte, mais aussi le bétail (destruction des croûtes par piétinement sur les terrains sableux).

Si l'approche en termes d'état de surface constitue en soi une innovation sur le plan du diagnostic, l'application de ces nouvelles connaissances permet une "redécouverte" de certaines pratiques agricoles revues à présent sous l'angle de la maîtrise des processus d'encroûtement mais aussi son corollaire, la maîtrise de la fertilité et de l'érosion. Ces techniques élémentaires visant le contrôle de l'encroûtement peuvent être énoncées, mais on devra les confronter les unes aux autres (risque d'antagonismes), à la logique des itinéraires techniques ainsi qu'à la nature et à l'état réel des milieux auxquelles elles sont destinées. Il va sans dire que toutes doivent être replacées dans le système de production et de décision (coût monétaire ou en travail, contrôle et accès au foncier, jours disponibles et calendrier cultural, risques d'échec...).

■ Les différentes techniques de contrôle de l'encroûtement

□ Maintien d'une stabilité structurale de l'horizon de surface

Dans les techniques jouant sur les conditions internes de l'encroûtement, citons la fumure de matières organiques humifiées, la place suffisante des céréales dans les rotations (enracinement structurant), la limitation du nombre d'interventions culturales risquant de soumettre les agrégats aux pluies, l'association des cultures à un parc arboré (*Acacia albida*), le respect de la jachère arbustive de longue durée, et le choix de terrains à risque faible d'effondrement structural. Certains amendements anticroustants (polymères organiques, gypse sur sols riches en sodium) ont été testés mais aucun n'apparaît utilisable dans les conditions de l'agriculture sahélienne.

□ Protection de surface

Il s'agit de pratiques jouant sur les conditions externes de l'encroûtement. Le paillage réduit à zéro l'énergie cinétique des pluies. La principale limitation d'un paillage fin et trop couvrant est son coût, celle d'un paillage grossier et épars est l'enherbement précoce. Sur culture à grand écartement, un paillage fin et dense pourrait être localisé sur la ligne de semis en vue d'une efficacité accrue. Le paillage de fin de saison sèche au moyen de certaines matières végétales (branchages de certains arbustes tels que *Piliostigma reticulatum*, écorce de baobab, poudrette de parc à bétail, compost, pailles fines...) favorise l'activité des termites sur les sols suffisamment argileux et le piégeage de sables et de résidus organiques éoliens sur ceux qui sont assez sableux.

Le rôle des plantes de couverture dans les associations culturales est d'accroître la protection du sol mais aussi de substituer à l'évaporation du sol une ETR utile et d'exploiter au mieux l'eau du sol lorsque l'enracinement et la conductivité hydraulique sont faibles. Dans ces conditions, les sols plus argileux, pourvus d'un mauvais self-mulching, d'une faible conductivité hydraulique, et les profils culturaux présentant des défauts de structure sont plus aptes à valoriser de telles associations que des sols très sableux où la compétition risque de se faire davantage.

L'enfouissement partiel de résidus favorise la création de discontinuités de surface mais il convient de mentionner les problèmes liés à leur toxicité, au parasitisme, et à l'immobilisation d'azote que leur dégradation implique.

□ Contrôle de l'état structural de surface

Le labour attelé en conditions ressuyées, les façons superficielles adaptées à la texture et à l'état d'humectation, les sarclages permettent de restaurer une bonne capacité d'infiltration pendant une période équivalant à 50-100 mm de pluie environ pour un sol ferrugineux lessivé sableux (SERPANTIE et LAMACHERE, 1989). Mais la recherche d'un taux d'infiltration maximal doit être mise en rapport avec la capacité de drainage du terrain en cas d'excès d'eau, ainsi que la tolérance des cultures à l'engorgement. La régénération d'une structure par travail du sol peut conduire à certains effets indésirables: création de semelles, risque d'érosion par charriage après perte de cohésion et fragmentation, affaiblissement de la stabilité de structure. Cela souligne l'importance des conditions de travail du sol (structure et taille des mottes, profil hydrique, place du terrain dans le paysage, taux de matière organique, conditions de ruissellement), du raisonnement de l'itinéraire technique et du système de culture (fréquence du travail du sol, bilan organique).

□ Ralentissement du ruissellement par la création d'une rugosité ouverte

Par l'épandage, le stockage temporaire en surface, le ralentissement hydrodynamique et le contrôle de l'organisation du ruissellement ("conditionnement du ruissellement"), il est possible d'accroître la durée d'infiltration de la nappe de ruissellement et de réduire sa compétence. On peut procéder par formation d'une rugosité "ouverte", c'est-à-dire ne s'opposant que temporairement à l'écoulement: paillage, buttage, billonnage, cordons isohypses filtrants permanents, terrasses. De telles techniques maintiennent une possibilité de vidange externe en cas d'excès d'eau, mais autorisent aussi l'exploitation de ruissellements entrants.

Le risque inhérent à toute structure linéaire isohypse (billons, cordons, diguettes) est de collecter latéralement la nappe de ruissellement et de se fermer petit à petit. D'où un risque élevé de concentration de filets d'eau qui peut accroître l'érosion linéaire et le ruissellement global. Pour éviter ces inconvénients, il faudrait raisonner de telles pratiques dans leur contexte d'application (place dans le bassin versant, respect de la courbe de niveau, écartement), et surtout compléter tout aménagement linéaire par un cloisonnement latéral. De nombreuses variantes du cordon pierreux existent (fascines, andains, lignes de touffes de graminées pérennes, demi-lunes). Les résultats expérimentaux montrent que l'efficacité de tels aménagements à accroître l'infiltration dépend, pour une architecture donnée, de l'état de surface (rugosité, porosité, humidité) et du type de sol. Un état rebattu et humide, un sol peu perméable ou à faible capacité de rétention conduisent à une faible expression de l'aménagement dans le bilan d'eau (SERPANTIE et LAMACHERE, 1989). D'autre part, il faut signaler la fugacité des caractéristiques initiales, donc les mesures de protection et d'entretien à prendre pour s'assurer d'un effet durable. Le coût important en travail, le statut foncier précaire, la faible fertilité et les pratiques extensives sont évidemment des obstacles à de tels aménagements dans les "champs de brousse". La constitution progressive de terrasses par ce moyen agit non seulement sur le ruissellement, mais aussi accroît la réserve en eau de sols peu épais.

□ Piégeage d'eau par formation d'une rugosité fermée

Le rôle de ces techniques est de stocker l'eau de ruissellement issue de petits impluviums sur des surfaces réduites (billonnage cloisonné, trouaison ou "pitting", casiers, ainsi que l'ensemble des techniques de "micro catchment" – REIJ *et al.*, 1988 – ou d'épandage localisé, à vocation pérenne). Ces modèles sont mis en œuvre à l'échelle du champ: zaï paysan (trouaison au poquet), utilisation de diguettes imperméables avec système de culture en bandes alternées. Ils concer-

nent aussi des échelles plus vastes, tel l'épandage de crues torrentielles sur terrasses aménagées (KLEMM et SCHRAMM, 1988). Les principaux problèmes pratiques que posent ces aménagements sont, d'une part, leur stabilité, qui peut s'obtenir par l'armement des structures (pierres, végétalisation), d'autre part la réduction importante de l'espace productif des champs aménagés (zones asséchées par les obstacles), imposant de fait une intensification en matière d'entretien de la fertilité qui n'est pas toujours compatible avec les systèmes de production et le coût de la fertilisation. L'évacuation des excès d'eau en surface ou l'utilisation de ruissellements entrants entraîne souvent la destruction localisée de ces aménagements, d'où des risques d'érosion linéaire et une perte d'efficacité hydraulique. Quant aux aménagements à gestion collective, ils posent les mêmes problèmes sociaux que l'irrigation.

En conclusion, il semble nécessaire qu'en matière de recherche soit poursuivie l'étude des effets élémentaires sans oublier celle des interactions élémentaires (effets d'échelle, interaction climat-sol-technique, itinéraires techniques). Les nouvelles combinaisons dans le domaine du contrôle de l'encroûtement et du ruissellement ne peuvent de toute façon être considérées comme valides que si elles sont raisonnées dans les systèmes de culture et de production et par rapport à leur capacité d'évolution.

La gestion collective du paysage hydrique dans le terroir

Gestion des reports d'eau dans l'espace

Les enjeux de la gestion du ruissellement sont devenus importants dans toute la zone sahélo-soudanienne cuirassée et collinaire où les ressources en eau de ruissellement sont nombreuses et où les pertes en eau correspondantes atteignent fréquemment 20 % de la pluie à l'échelle de petits bassins versants. La période de la sécheresse a obligé les paysans à mieux prendre en compte le facteur ruissellement et d'anciennes pratiques ont été rapidement retrouvées (le zaï, les réseaux de cordons pierreux, le paillage de début d'hivernage, l'orientation de ruissellements exogènes dans les champs).

La prise en compte de ce facteur s'observe parfois simplement par la mise en culture systématique des zones basses qui concentrent naturellement le ruissellement et qui étaient considérées souvent comme des zones plus contraignantes : sols plus argileux parfois durcis, sols très battants et asphyxiants, enherbement important, présence de *Striga* et végétation ligneuse à contrôler, hydromorphie, courants d'eau. Comme la végétation naturelle, contractée entre des zones d'érosion nues et des zones plus humides de sédimentation, l'activité humaine tend donc actuellement à se renforcer aux points bas, là où subsistent les ressources en eau, suivant une répartition habituelle aux milieux prédésertiques. Cela incite les opérateurs à accélérer le processus en tirant parti de techniques collectives de collecte d'eau, voire en favorisant ruissellement et érosion sur les versants, comme cela a été étudié au Neguev et en Haïti, puis en pratiquant l'équipement hydraulique des bas-fonds.

Dans le domaine de la recherche, il faut considérer la modélisation des transferts hydriques par les modèles hydrologiques ou le modèle hydraulico-pédologique Source (GIRARD et DUFAURE, 1988) comme des outils intéressants pour aborder les problèmes de la gestion des eaux de surface et souterraines en rapport avec

des objectifs multiples et sur des espaces étendus (GUILLET *et al.*, 1990). Ils pourraient permettre de déterminer les portions d'espace où un aménagement sera le plus efficace, au moindre coût, dans l'esprit de la recherche opérationnelle.

Dans le domaine des actions de développement, les stratégies d'intervention dans le domaine de la gestion collective des eaux et son corollaire, le contrôle de l'érosion, ont évolué. Les anciennes pratiques de DRS et de CES, mal adaptées aux systèmes de culture et de production, trop précaires ou n'impliquant pas assez les paysans, ont fait place à de nouvelles stratégies, combinant communication et action technique. L'innovation concerne l'échelle d'intervention, laquelle s'applique soit à des territoires villageois, soit à des quartiers, soit à des associations. On peut signaler la méthode dite GCES (gestion conservatoire de l'eau et des sols) de la cellule recherche-développement de Ouahigouya (RODRIGUEZ et ROOSE, 1990) : enquêtes, tests de sélection de pratiques appropriables *in situ*, plans d'aménagement concerté de petits bassins versants correspondant à des terroirs de quartier, aménagements et mise en défens en coresponsabilité.

Il existe aussi d'autres approches plus volontaristes (projets FAO/CARE de Keita au Niger), faisant appel à une certaine mécanisation, ou très intégrées, telle la méthode préconisée par BONFILS (1987). Selon ce dernier, on doit relier la recherche d'une meilleure utilisation de l'eau à l'amélioration d'autres domaines : l'intensification et la réduction des surfaces cultivées, la solution du problème énergétique, l'amélioration des parcours lui apparaissent comme des objectifs prioritaires dans une approche de "gestion de terroir". Globalement, on peut dire que ces nouvelles approches sont moins agressives et permettent effectivement l'aménagement durable d'un paysage. Leur principal défaut est l'habituelle précipitation dans laquelle elles sont mises en œuvre, empêchant l'apparition de nouveaux modes de régulation sociale adaptés, ou pouvant engendrer des liens de dépendance trop forts vis-à-vis de l'extérieur.

Mise en valeur des bas-fonds par de petits ouvrages

Cette action se fonde en grande partie sur une transformation des vallées inondables du Sahel. Depuis une vingtaine d'années un certain nombre d'aménagements étaient réalisés dans ce sens, mais ce n'est que depuis les années 80 que la demande villageoise s'accroît car la logique interne de gestion du risque hydrique rejoint à présent la logique externe de "mise en valeur" ; elle engendre une véritable dynamique dans certaines régions, suivie par un foisonnement de projets d'appui (cas de la région Centre-Nord au Burkina Faso). Cette dynamique est liée à la combinaison de plusieurs processus :

- la démographie, la difficulté croissante de la migration, la saturation et la dégradation des terroirs, qui impliquent un accroissement de productivité des terres cultivées ;
- la fréquence des sécheresses, qui entraîne avant tout une recherche de sécurité hydrique (tous usages de l'eau confondus) dans les stratégies des paysans ; cet objectif accroît leur intérêt pour des zones humides mais contraignantes, où peut aussi s'envisager la recharge de nappes souterraines ;
- un certain nombre de facteurs exogènes, dont les principaux sont l'adéquation de cette option avec l'engouement actuel pour le mode d'intervention par microprojets d'aménagements "en dur" des organisations non gouvernementales, l'adéquation avec les pratiques fréquentes de fourniture d'aide alimentaire en échange de travail lourd d'aménagement ; enfin, les compétences et moyens techniques limités, le

financement restreint, les délais de réalisation réduits (génie rural léger), compatibles avec le type de formation des intervenants extérieurs et leurs ressources.

Dans les régions nord du Sahel, le bas-fond était jusqu'à présent boisé et réservé au parcours (bourgoutières, pâturages de début d'hivernage), à l'abreuvement du bétail, à la cueillette (*Panicum laetum*, fourrages ligneux, bulbes de nénuphars...). Il devient peu à peu un des lieux privilégiés pour les cultures de sécurité vivrière de sorgho et de mil, malgré les fortes contraintes de ce milieu (crues, adventices, hydromorphie) et les conséquences défavorables aux systèmes d'élevage et à l'écologie (disparition de peuplements ligneux, érosion...) (MILLEVILLE, 1990). Les grandes cuvettes inondables sont occupées soit par des bourgoutières, soit par des cultures extensives de riz inondable, ou encore en cultures de sorgho de "décrue", lorsqu'il y a pérennité des franges capillaires après l'hivernage.

Dans les régions sud du Sahel, il faut différencier : les plaines inondables valorisées jusqu'à présent par une riziculture traditionnelle extensive, généralement par les femmes ; les bas-fonds à faible drainage (zones de pénéplaines), qui convenaient auparavant au coton pérenne et au sorgho brassicole sont à présent cultivés unanimement en sorgho et accompagnés de plantations d'arbres (arbres soudanais, manguiers, goyaviers), sauf dans les lieux les plus humides où seul le riz est possible ; enfin, les bas-fonds à bon drainage, qui sont plutôt des talwegs à pente non négligeable (zones de collines) cultivés en mil, sorgho, coton, parfois sous parc.

Dans ces différents cas, la dynamique d'aménagement a permis la mise au point de techniques plus ou moins adaptées et fiables de stockage et de maîtrise des crues en liaison avec différents objectifs : formation de nappes d'eau pour maraîchage, besoins d'abreuvement, prolongation de stocks superficiels, amélioration de l'alimentation en eau des cultures, rizières à degré d'intensification intermédiaire. On citera la typologie de BERTON (1988) : les petits barrages en terre, en gabions, en béton cyclopéen ou pierres maçonnées, les microbarrages déversants à niveau réglable par des vannes et batardeaux, les digues filtrantes, enfin les simples diguettes en terre.

Deux cas sont possibles. La demande portée sur la réalisation d'un "point d'eau" débouche sur un ouvrage de retenue qui n'a rien d'une innovation agricole. Si l'ouvrage doit entraîner une gestion pour une utilisation agricole (riziculture par submersion semi-contrôlée, périmètres irrigués), l'aménagement représente une véritable innovation mais son appropriation par les acteurs locaux dépend en grande partie de l'adaptation au contexte social et de l'accompagnement (technique, organisationnel, économique). Trop souvent les intervenants se contentent d'apprécier le contexte lié à la construction de l'ouvrage (disponibilité de main-d'œuvre, motivations, compétences techniques, capacité d'organisation, participation financière...) et ne prévoient pas de discuter suffisamment des problèmes fonciers et de gestion des eaux. Or, les pratiques de soutien des chantiers (aides diverses), bien connues des bénéficiaires, biaisent toute étude de motivation.

Dans le domaine de l'aménagement de bas-fond, BERTON (1988) juge que la qualité d'un intervenant tient à sa capacité à :

- identifier clairement les différents acteurs et leurs objectifs, leur logique économique et la dynamique de leur organisation ;
- étudier toutes les alternatives techniques en prenant en compte l'ensemble de l'environnement ;
- associer les acteurs à toutes les phases de l'action et de l'étude.

Le degré de réussite dépend alors de plusieurs conditions : stabilité de l'aménagement, viabilité sociale et économique, autonomie des groupements d'utilisateurs, que le décideur soit l'utilisateur. Selon BERTON, la dissociation des droits fonciers et des droits à l'utilisation de l'eau serait aussi un facteur favorable.

Si cette stratégie de gestion de l'eau dans l'espace à partir des seuls bas-fonds est à étudier dès aujourd'hui, n'est-il pas prématuré de l'appliquer systématiquement ? Il est à craindre que, dans bien des cas, l'aménagement des bas-fonds, malgré ses coûts monétaires et sociaux élevés, l'incertitude de ses résultats, soit la seule réponse apportée à la dégradation des terroirs et que l'on perde de vue la conservation des sols et des eaux le long des versants, là où une restauration est possible à un moindre coût.

Mieux appréhender la valeur symbolique de l'eau

Cet aperçu de nouvelles techniques et stratégies s'appliquant à la "question de l'eau" ne prétend à aucune exhaustivité. Il ne concerne, on l'a vu, que les niveaux de l'exploitation agricole et du terroir. Nous n'avons pas abordé l'échelon régional où un certain nombre de techniques nouvelles pourraient être employées, notamment dans le domaine de la surveillance: utilisation de la télédétection pour estimer et cartographier en temps réel les pluies, l'évaporation, l'humidité du sol, le taux de couverture végétale ; couplage de ces données à des modèles de simulation des bilans hydriques permettant un diagnostic régional permanent et ouvrant la voie à une gestion des appuis (approvisionnements...) ; télétransmission et modèles de "systèmes d'eau" pour raisonner la gestion de l'eau sur les grands bassins fluviaux.

Nous avons voulu montrer que de nombreuses techniques élémentaires de maîtrise de l'eau sont connues mais que leurs interactions avec une multiplicité de milieux, de systèmes de culture, de production et d'exploitation, donc leurs conditions d'appropriation, le sont insuffisamment. Le classique dilemme entre un souci de mise en valeur de ressources et l'amélioration de la conduite de systèmes de production peut être résolu à condition de centrer la réflexion sur les versants social et économique du changement technique, si toutefois celui-ci s'avère fiable et répond correctement aux conditions du milieu d'accueil.

Pour mieux gérer la ressource en eau et le risque hydrique, il est généralement recommandé de jouer sur l'intensification et le mode associatif. Si ces options paraissent pertinentes en saison sèche, comme l'a montré la réussite de certaines opérations axées sur le développement d'activités de contre-saison, une réflexion doit être menée sur les risques qu'elles entraîneraient en saison humide, en perturbant la sécurité du fonctionnement des systèmes de culture et la cohésion familiale traditionnelle nécessaires aux économies de subsistance.

Sans doute y a-t-il lieu, dans cette conclusion, d'ouvrir la réflexion sur un autre plan. Nous voudrions souligner l'importance de la valeur symbolique de l'eau dans la plupart des sociétés concernées ou non par sa rareté, y compris la nôtre (LE ROY, 1985). Il s'ensuit une difficulté pour le technicien: avec le code mythique dont il a été nourri (mythe de la rationalité, de l'Etat omnipotent en tant que seule entité compétente pour le contrôle des eaux au nom de l'intérêt général), peut-il proposer des pratiques de maîtrise des flux d'eau adaptées et apprécier leurs effets sur des populations qui ne possèdent pas la même vision du monde ?

Dans les sociétés sahéniennes, les niveaux de la réalité mesurables et descriptibles ne suffisent pas seuls pour analyser la question de l'eau (et les questions agraires en général), puisque celle-ci comporte aussi des dimensions symboliques et psychologiques, moins directement appréhendables. L'eau est souvent, dans la mythologie africaine, associée à la parole dans le processus de mise en ordre du monde et de la société, puis joue un rôle identique comme garant de la reproduction de

leur équilibre toujours instable (LE ROY, 1985). Les cultes de l'eau, les interdits techniques qui touchent l'eau (question de l'arrosage du mil qu'il est difficile d'aborder avec de nombreux paysans) n'en sont-ils pas des manifestations ? Si la coexistence de ces deux systèmes de représentation, l'ancien et l'importé, produit son cortège de désorganisation et de déresponsabilisation, le gestionnaire du milieu et des hommes ne devra-t-il pas adjoindre à ses propositions techniques une nouvelle philosophie ? N'oublions pas ici le rôle qu'ont pu jouer divers mouvements philosophiques ou religieux dans l'acquisition de nouveaux modes de production.

Bibliographie

Agriculture irriguée en Afrique. Actes du séminaire de Harare (Zimbabwe), 25-29 avril 1988. Wageningen, CTA-ILRI.

Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production. Actes du III^e séminaire, Montpellier (France), 16-19 décembre 1986. Montpellier, CIRAD-DSA, 653 p. (coll. Documents systèmes agraires, n° 6).

ALBERGEL J., 1988. *Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso*. Paris, ORSTOM, 342 p. (coll. Etudes et thèses).

BELLONCLE G., 1988. La participation des usagers est-elle possible sur les aménagements hydro-agricoles ? *In* : Agriculture irriguée en Afrique. Actes du séminaire de Harare (Zimbabwe), 25-29 avril 1988. Wageningen, CTA-IRRI.

BERTON S., 1988. La maîtrise des crues dans les bas-fonds. Paris, GRET (coll. Le Point sur, n° 12).

BIDINGER F., JOHANSEN C., 1988. Drought research priorities for the dryland tropics. Patancheru, ICRISAT.

BONFILS M., 1987. Halte à la désertification dans le Sahel. Paris, Karthala-CTA, 263 p.

BOULIER F., JOUVE P., 1990. Evolution des systèmes de production sahéliens et leur adaptation à la sécheresse. Montpellier, CIRAD-R3S, 143 p.

BRGM, BURGEAP, CINAM, 1988. Etude de valorisation agricole des eaux souterraines. FAC.

CARBONNIER J., LAFFRAY D., 1986. Les anti-transpirants stomatiques : recherche et application. Paris, ACCT, Muséum d'histoire naturelle, 241 p.

CASENAVE A., VALENTIN C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Paris, ORSTOM, 230 p. (coll. Didactiques).

CIEH-BRGM, 1976. Carte de planification des ressources en eaux souterraines.

CIEH-RAT, 1983. Valorisation agricole des ressources pluviométriques. IRAT, 145 p.

COLLINET J., 1988. Comportement hydro-dynamique et érosif des sols de l'Afrique de l'Ouest. Thèse, université de Strasbourg, 513 p.

DANCETTE C., 1983. Besoins en eau du mil au Sénégal. Adaptation en zone semi-aride tropicale. *L'Agron. Trop.*, 38 (4) : 267-280.

DESJEUX D., 1985. L'eau, quels enjeux pour les sociétés rurales. Paris, L'Harmattan, 220 p.

DEVISSE J., 1985. Les Africains et l'eau, la longue durée. *In* : Les politiques de l'eau en Afrique. Développement agricole et participation paysanne. Actes du colloque de la Sorbonne, Paris (France), octobre 1983. Paris, Economica, p. 120-131.

DIEMER G., VAN DER LAAN E., 1987. L'irrigation au Sahel. Paris, Karthala, 208 p.

DIPAMA B., 1987. Alternatives de travail du sol en culture attelée en zone soudano-sahélienne. Rapport de stage, IDR-ORSTOM, 48 p.

DUGUE P., 1986. L'utilisation des ressources en eau à l'échelle d'un village : perspectives et développement des petits périmètres irrigués de saison des pluies et de saison sèche au Yatenga. Contraintes techniques et socio-économiques. *In* :

Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production. Actes du III^e séminaire, Montpellier (France), 16-19 décembre 1986. Montpellier, CIRAD-DSA, 653 p. (coll. Documents systèmes agraires, n° 6).

FOREST F., 1989. La méthodologie Espace. *In* : *Atelier d'agroclimatologie opérationnelle pour les pays du CILSS*, 29 janvier-3 février 1989. Montpellier, IRAT-AGHRYMET.

FRANQUIN P., SICOT M., 1986. Un modèle de simulation de l'irrigation complémentaire. Le système probabiliste ORACLE. Application au Sahel : l'irrigation de sécurité. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 22 (1) : 51-62.

GIRARD M.C., DUFAURE L., 1988. Présentation d'un modèle de transfert de l'eau dans les sols : Source. INRA.

GUILLET F., LAMACHERE J.M., SABATIER J.L., SERPANTIE G., 1990. L'aménagement des conditions du ruissellement sur les pentes cultivées soudano-sahéliennes. *In* : *Journées scientifiques AUPELF-UREF, Ouagadougou (Burkina Faso)*, 12-15 mars 1990, 21 p.

KLEMM W., SCHRAMM M., 1988. Projet de recherche de l'irrigation par des eaux de ruissellement. Université de Karlsruhe, 24 p.

LE ROY E., 1985. Les politiques de l'eau en Afrique Noire, deux ou trois choses que je sais d'elles. *In* : *Les politiques de l'eau en Afrique. Développement agricole et participation paysanne. Actes du colloque de la Sorbonne, Paris (France)*, octobre 1983. Paris, Economica, p. 176-194.

LERICOLLAIS A., SCHMITZ J., 1984. "La calebasse et la houe". Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum., 20 (3-4) : 427-452.

MARCHAL J.Y., 1983. Yatenga. Nord-Haute-Volta. La dynamique d'un espace rural soudano-sahélien. Paris, ORSTOM, 873 p. (Travaux et documents de l'ORSTOM, n° 176).

MARTINELLI B., SERPANTIE G., 1987. La confrontation paysans-aménageurs au Yatenga. Cah. Rech.-Dév., 14-18 : 29-52.

MARZOUK Y., 1989. Sociétés rurales et techniques hydrauliques en Afrique. Econ. Rur., 115-116 : 9-36.

MILLEVILLE P., 1990. Activités agropastorales et aléa climatique en région sahélienne. *In* : *Le risque en agriculture*. P. Milleville, M. Eldin (éd.). Paris ORSTOM, p. 233-241 (coll. A travers champs).

NICOU R., OUATTARA B., SOME L., 1987. Effets de techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières au Burkina Faso. Ouagadougou, INERA, 77 p.

RAYNAUT C., 1989. La culture irriguée en pays haoussa nigérien. Aspects historiques, sociaux et techniques. Econ. Rur., 115-116 : 105-128.

REIJ C., MULDER P., BEGEMANN L., 1988. Water harvesting for plant production. Washington, World Bank, 123 p. (Technical paper n° 91).

RODRIGUEZ L., ROOSE E., 1990. Aménagement de terroirs au Yatenga (nord-ouest du Burkina) ; quatre années de gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols : bilan et perspectives. Montpellier, CRPA-INERA-CIRAD-ORSTOM, 57 p.

RUF T., 1986. La sakkia égyptienne. Interface entre l'aménagement hydro-agricole et les systèmes de production paysans. *In* : *Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production*. Actes du III^e séminaire, Montpellier (France), 16-19 décembre 1986. Montpellier, CIRAD-DSA, 653 p. (coll. Documents systèmes agraires, n° 6).

SERPANTIE G., LAMACHERE J.M., 1989. Improvement of cultivated slopes in sudano sahelian areas thanks to permeable microdam systems. *In* : 6th ISCO conference 1989, Addis Abeba (Ethiopia).

SOME L., 1989. Diagnostic agro-pédo-climatique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Etude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance (sorgho, mil, maïs). Thèse, université de Montpellier-II, 312 p.

VALET S., 1985. Première approche du fonctionnement hydrique des paysages agraires au Siné-Saloum. IRAT-ISRA, 31 p.

WRIGHT P., 1985. La conservation des eaux et des sols par les paysans. Ouahigouya, PAF, 12 p.

L'évolution des démarches de recherche : quelques repères

**Pierre-Marie Bosc
Patrice Garin
CIRAD-SAR**

Table des matières

Quelques repères	353
Postulat de cohérence des producteurs	353
Diversité des milieux	353
Environnement économique	354
Organisation socio-professionnelle des producteurs	354
Conditions de base de la production agricole	355
Des sols aux unités de paysage	355
Du climat au risque agroclimatique	356
Mécanismes d'élaboration de la production végétale	358
Pratiques agricoles et systèmes de production	359
Systèmes et unités de production	360
Système de production	360
Unités de production	362
La recherche-développement	363
Le diagnostic	363
L'innovation technique en milieu paysan	364
Perspectives	364
Bibliographie	366

Vouloir retracer l'évolution des démarches de la recherche agricole pour le développement au Sahel serait prétentieux et proposer quelques repères qui tentent de baliser le chemin parcouru demeure une tâche délicate.

Par recherche agricole pour le développement, nous entendons les activités de recherche – relevant de domaines spécifiques (agronomie, foresterie, zootechnie...) – ayant pour finalité immédiate la mise au point de propositions d'innovations techniques destinées aux producteurs agricoles, mais aussi de méthodes et d'outils de recherche facilitant les étapes de mise au point et de diffusion de ces innovations.

Le sujet est donc vaste et les disciplines auxquelles font appel les chercheurs vont bien au-delà de l'agronomie, de la zootechnie ou de la foresterie au sens strict, en direction des sciences humaines – géographie, sociologie, économie pour ne citer qu'elles – ce qui rend périlleux tout exercice de synthèse, nécessairement réducteur, d'une réalité enrichie par la pratique de la pluridisciplinarité.

Un tel travail de synthèse sur l'évolution de ces démarches devrait donc impliquer la participation des spécialistes des différentes disciplines concernées. Il reste à faire, et on appréciera l'importance de cet enjeu au regard des défis du développement agricole du Sahel.

Nous nous limiterons ici à présenter quelques éléments qui ont paru être significatifs d'une évolution des démarches de la recherche agricole au Sahel.

Ainsi que nous venons de l'indiquer, seront privilégiées dans l'analyse les démarches de recherches agricoles situées relativement "en aval" dans le schéma général d'organisation de la recherche, à savoir les recherches appliquées, ou recherche-développement, proches de la mise au point et de la diffusion des propositions d'innovations.

Ce parti pris ne correspond qu'au choix déjà fait pour l'ensemble de l'étude sur le Sahel, à savoir celui de privilégier l'analyse critique des disponibilités techniques provenant soit de la recherche, soit des opérations de développement.

Ce choix, qui peut être discuté, ne procède pas d'un quelconque jugement sur l'importance relative des recherches situées plus en amont par rapport à celles situées en aval. Au contraire, et il convient de souligner ici l'importance d'une accumulation de connaissances fondamentales sur le milieu physique et biologique comme sur les dynamiques sociales, tant en milieu rural qu'en milieu urbain.

On pourra se référer, entre autres, aux travaux des botanistes, biologistes, entomologues, géologues, ethnologues et sociologues sans l'apport desquels il ne saurait y avoir de recherche appliquée pertinente. C'est le cas, par exemple, des recherches visant à mieux connaître les différentes phases des cycles de reproduction des ravageurs des cultures, qui sont fondamentales et indispensables à la mise au point des méthodes de prévention ou de lutte.

Loin de constituer une base de connaissances qui ne seraient pas directement "utiles" au développement économique et social, ces recherches nous paraissent primordiales et leur éventuelle limitation, y compris dans les régions sahéliennes, pour des raisons d'économie à court terme, se révélerait non économique, sur le long terme.

Des solutions pour assurer leur pérennité institutionnelle et sociale devront être trouvées en ayant le souci de ne pas peser davantage sur des économies sinistrées.

■ Les enjeux de la recherche agricole pour le développement

☐ Gérer la contradiction entre la diversité des situations et une large diffusion des innovations

Nombre de contributions dans cette étude insistent sur la diversité des situations agricoles rencontrées au Sahel. Diversité des milieux physiques, diversité des structures sociales et des conditions socio-économiques des producteurs, diversité de

l'environnement macro-économique d'un Etat à l'autre en sont quelques aspects parmi les plus importants.

La recherche agricole doit être en mesure de fournir des propositions d'innovations adaptées à la diversité des milieux et des modes de mise en valeur, et ouvrant des perspectives incitatives pour différentes catégories de producteurs, et en particulier la masse des producteurs pauvres du Sahel.

Cette diversité contribue à créer un cadre complexe pour le choix des priorités dans les programmes de recherche agricole.

Par ailleurs, le développement économique du secteur agricole passe par la diffusion et l'adoption massives de propositions d'innovations techniques et organisationnelles permettant d'accroître la productivité du travail et de la terre. La recherche agricole se doit donc de prendre en compte cette indispensable valorisation des innovations techniques à une échelle significative sur le plan du développement agricole.

Un des enjeux de la recherche agricole réside donc dans la gestion de la contradiction entre la nécessité de mettre au point des propositions d'innovations techniques adaptées à la diversité des situations et l'impératif pour le développement agricole que ces propositions soient diffusables sur une échelle significative au plan économique.

□ Réduire l'écart entre propositions techniques et attentes des producteurs

Bien souvent, la recherche dispose de solutions techniques permettant l'amélioration de la production agricole mais on considère que ces innovations ne peuvent être diffusées auprès des producteurs. Trois raisons principales paraissent rendre compte de cette situation :

- une demande paysanne non explicitée socialement à travers des organisations socio-professionnelles susceptibles d'exprimer à la recherche des demandes en propositions d'innovations : il importe de rechercher les moyens de faire émerger cette demande ;

- une prise en compte insuffisante des conditions socio-économiques – souvent précaires – de la majorité des producteurs qui a pour effet de réserver la diffusion de certaines solutions techniques à une minorité favorisée ; n'avoir pour interlocuteurs que les producteurs de pointe ou dits "dynamiques" limite singulièrement, pour la recherche, les possibilités d'une adoption plus large des propositions d'innovations ;

- une hiérarchisation des priorités de recherche et donc de "production" de propositions d'innovations différente des attentes résultant des stratégies mises en œuvre par les producteurs. Un problème technique réel pour lequel la recherche propose des solutions techniques peut ne pas constituer un facteur limitant essentiel dans la hiérarchie établie par les producteurs compte tenu des stratégies qu'ils adoptent. De plus, ces stratégies ne sont pas figées et elles évoluent, notamment en fonction de l'environnement économique.

Réduire l'écart entre propositions techniques innovantes et attentes des producteurs en matière d'innovations constitue donc un autre enjeu fondamental pour la recherche agricole au Sahel. Leur rapprochement passe par une hiérarchisation pertinente des programmes de recherche agricole à différentes échelles géographiques, et ce en collaboration avec les producteurs organisés – quand c'est possible – afin de limiter autant que possible les "malentendus" entre chercheurs et paysans.

■ Les différents niveaux d'échelle

Nous désignerons ici par :

- niveau local : l'échelle concernant quelques villages, qui est le cadre habituel des opérations de recherche-développement ;

- niveau de la petite région agricole : l'échelle d'une zone homogène tant dans ses caractéristiques agropédoclimatiques que sociales ;
- niveau sous-régional : l'échelle habituelle des opérations de développement, qui correspond à une unité géographique définie ;
- niveau régional sahélien : l'ensemble sahélien tel qu'il est défini dans cette étude.

Quelques repères

L'impact parfois limité d'opérations de développement basées sur des résultats de la recherche agricole, ou du moins un impact relativement modeste apprécié ex post au regard des prévisions affichées ex ante, a conduit à s'interroger, d'une part, sur les modes d'intervention en milieu rural * et, d'autre part, sur la conception et les méthodes adoptées par la recherche agricole.

Les deux démarches se trouvent parfois intimement associées par le biais d'actions de recherche-développement servant de base au montage de projets de développement ou à travers le fonctionnement de cellules de suivi-évaluation qui peuvent fournir des informations pertinentes sur les réactions des producteurs aux propositions d'innovations techniques.

Des acquis méthodologiques issus de l'expérience de la recherche et du développement contribuent à l'élaboration d'un nouveau cadre pour la recherche agricole, qui implique une adaptation certaine de ses démarches et méthodes.

Postulat de cohérence des producteurs

Par rapport à la rationalité techniciste de la recherche agricole et à la cohérence agronomique ou zootechnique de ses propositions, les comportements des producteurs qui se traduisaient par une non-adoption des thèmes techniques ou par un fractionnement des "paquets techniques" étaient habituellement, et de manière souvent hâtive, jugés irrationnels. Il est maintenant reconnu que "les producteurs ont de bonnes raisons de faire ce qu'ils font" et que l'adoption des propositions d'innovations est d'autant plus facile qu'elle correspond à une stratégie du producteur pour gérer ses ressources au mieux de ses intérêts, dans un contexte socio-économique donné.

Diversité des milieux

La station de recherche (agronomique ou zootechnique) ne peut constituer le seul cadre de référence pour l'élaboration de propositions d'innovations techniques. En effet, sa localisation trop ponctuelle vis-à-vis de la diversité des milieux agro-écologiques et son isolement de la réalité socio-économique des unités de production limitent la pertinence et la validité de ces propositions. Les démarches de recherche en station doivent nécessairement être complétées par des approches du milieu paysan, dans des conditions expérimentales se rapprochant le plus possible des conditions de culture ou d'élevage qui sont celles des producteurs.

* Groupe de travail Coopération française : "Les interventions en milieu rural. Principes et approche méthodologique". Ministère de la Coopération et du Développement, 1990.

☐ **Diversité du milieu physique**

Elle s'apprécie aux différents niveaux d'échelle signalés plus haut.

Perceptible de façon très schématique au niveau de la région sahélienne, entre zones strictement pastorales et zones d'agriculture pluviale où coexistent agriculture et élevage, cette diversité apparaît aujourd'hui comme une donnée de base de la programmation et de l'orientation des recherches agricoles, depuis la parcelle jusqu'à la sous-région.

☐ **Diversité des situations économiques**

La diversité des situations économiques résulte de la combinaison de facteurs exogènes au milieu agricole (existence ou non de routes, de marchés, conditions de commercialisation des produits agricoles, conditions de l'approvisionnement en intrants...) et de facteurs propres aux unités de production et à l'évolution économique et sociale récente du secteur agricole (différenciation de types d'unités de production, mode d'accès au foncier, rapports de production et d'échange...).

☐ **Diversité des statuts sociaux**

Ils déterminent fortement les choix en matière de stratégie que font les producteurs et par là leur degré de réceptivité vis-à-vis des propositions d'innovations (chefs d'unités de production, dépendants, femmes, catégories sociales au sein du village, non-résidents, etc.).

L'expression des objectifs économiques et sociaux à travers les stratégies des producteurs varie selon le contexte socio-économique de la production agricole.

Situations économiques et statuts sociaux se combinent étroitement, créant une complexité socio-économique qui se superpose à celle de l'organisation du milieu physique. Sa prise en compte dès la conception des programmes de recherche paraît indispensable, et de nature à réduire l'écart possible entre propositions de la recherche et attentes des différentes catégories de producteurs.

Environnement économique

Les propositions d'innovations de la recherche agricole sont mieux adoptées par les producteurs quand il existe un environnement économique favorable en amont et en aval des unités de production. Inversement, l'organisation des producteurs peut agir sur cet environnement, suppléant ainsi aux déficiences de l'Etat ou des acteurs locaux (services agricoles, commerçants, organismes de crédit...), à travers la création et le développement de fonctions d'approvisionnement, de commercialisation et de crédit.

Cet environnement économique n'est pas immuable ; il est soumis au contraire à de fortes variations. La recherche agricole pour le développement se trouve donc incitée à élargir son champ d'intervention à des propositions d'innovations de type organisationnel, susceptibles de promouvoir cette prise en charge par les producteurs de manière durable.

Organisation socio-professionnelle des producteurs

De même, la participation de producteurs organisés à la programmation, au suivi-évaluation et à la diffusion des innovations techniques semble pouvoir dépasser, du moins dans certaines situations, le stade de l'intention pour entrer dans le

domaine de la réalisation pratique. L'émergence de groupements de producteurs structurés reste difficile et leur association effective aux différentes étapes de la recherche ne peut être envisagée qu'à moyen terme.

Dans l'attente d'une telle participation des producteurs à la prise de décision, les démarches de recherche montrent une évolution vers la prise en compte de l'avis des producteurs tant dans la phase de diagnostic que dans le suivi et l'évaluation des techniques expérimentées.

Conditions de base de la production agricole

Des sols aux unités de paysage

□ Démarches

Les démarches actuellement à l'œuvre dans l'étude des sols vont au-delà des méthodes analytiques et statiques employées pour dresser les cartes pédologiques.

L'approche développée intègre les apports de l'analyse systémique en situant le sol dans un cadre plus large qui inclut le climat, le relief, les matériaux d'origine, la végétation et prend en compte les interactions entre ces différents éléments.

Elle se place dans une perspective dynamique, et non plus statique, concernant l'évolution du milieu dans son ensemble : morphogenèse si les processus d'érosion dominent sur les milieux instables, pédogenèse si les milieux sont stables vis-à-vis des phénomènes érosifs ou interférence entre les deux phénomènes pour les milieux pénestables.

La cartographie n'est plus celle du sol mais celle d'un "*système naturel formant un paysage*" dans lequel sont définies des unités morphopédologiques ou types de milieu (TRICART et KILIAN, 1979).

Ces démarches s'appliquent soit aux petites échelles (1/1 000 000) soit aux échelles moyennes à grandes (1/2 000 à 1/100 000), considérant des pas de temps se situant davantage dans le court terme ou le moyen terme que les échelles de temps habituelles des pédologues.

Outre l'apport méthodologique déjà mentionné, l'intérêt de ces démarches réside dans la possibilité de caractériser la diversité des milieux à différentes échelles spatiales :

- à l'échelle des pays, l'identification de grandes unités morphopédologiques doit pouvoir servir de base à l'élaboration de politiques de développement agro-technique ;
- à plus grande échelle, l'analyse morphopédologique constitue une base pertinente pour l'élaboration de protocoles d'expérimentation agronomique (représentativité des sites choisis).

□ Illustration

Ce type d'approche peut être illustré par deux exemples significatifs :

- la cartographie des types de milieu du Burkina Faso (GUILLOBEZ, 1985), dont "*le découpage général est de type physiographique basé sur l'existence de reliefs résiduels, sur la nature du type d'altération ... caractérisant les diverses surfaces d'aplanissement, et sur le développement de formations éoliennes*" (sols et eaux) ; ce type de cartographie débouche sur une carte des contraintes à la mise en valeur et des potentialités de chaque unité identifiée (aptitudes culturelles) ;
- l'étude des bas-fonds, qui correspondent à un type particulier d'unité de milieu

dont l'organisation structurale est relativement similaire au sein d'une grande zone agro-écologique et qui constituent des lieux d'accumulation des eaux de surface et à ce titre sont un enjeu non négligeable pour le développement des régions sahéliennes (RAUNET, 1985).

□ Perspectives

A moyen terme, ce type de démarche cartographique devrait concerner davantage la région sahélienne, afin de mieux définir le cadre du milieu physique tant pour les recherches en aval que pour les actions de développement. En effet, s'il existe des données brutes sous forme d'inventaires pédologiques ou autres sur de nombreux pays sahéliens, certains, comme le Mali, ne sont que partiellement couverts par ce type de travaux alors que d'autres ne disposent pas d'une synthèse comparable à celle réalisée au Burkina Faso.

Une extension de ces démarches à l'échelle sahélienne se justifie donc sur la base des acquis antérieurs et des manques que l'on peut mettre en évidence dans ce domaine.

L'utilisation de ce type de recherche pourrait s'avérer particulièrement fructueux pour la recherche agricole.

Dans une perspective de recherche appliquée, l'identification de grands types d'unités de milieux devrait permettre une réflexion approfondie sur la localisation des stations de recherche et des points d'expérimentation, de manière à mieux les situer par rapport à la diversité des types de milieu.

A une échelle plus réduite, celle des opérations de développement, une telle démarche peut s'avérer particulièrement utile avant le démarrage des actions et surtout avant le choix de celles-ci. On peut penser, en effet, qu'une meilleure connaissance des aptitudes culturelles des différents types de milieu appréhendés à cette échelle permettrait un choix plus éclairé en matière d'options techniques à proposer.

Ces études préalables sont souvent peu élaborées pour des raisons de coût, mais est-il légitime d'engager des actions beaucoup plus coûteuses sans une connaissance minimale des milieux et de la diversité de leurs aptitudes ?

A terme, on peut envisager une évolution de ces démarches vers une plus grande prise en compte des interactions entre milieux physiques et systèmes techniques de production.

Dans cette perspective, il paraît tout à fait utile de situer cette prise en compte selon différents niveaux d'échelle en fonction des objectifs poursuivis : appui à des choix techniques aux niveaux régional ou local, choix d'une politique de développement technologique à l'échelon des pays ou des ensembles de pays...

Du climat au risque agroclimatique

□ Démarches

La conception et le développement des démarches suivies en agroclimatologie paraissent liés de façon étroite au développement des techniques d'observation et de simulation, ainsi qu'à la mise en œuvre opérationnelle de la notion probabiliste du risque hydrique et de la formalisation des relations entre les composantes du système eau-sol-plante.

Les méthodes d'étude développées présentent l'avantage de fournir des outils pour raisonner l'intervention à différentes échelles : région sahélienne, sous-régions à l'intérieur d'un pays et parcelles.

L'utilisation combinée des séries chronologiques probabilistes, des observations satellitaires et des suivis *in situ* permet d'obtenir des prédictions à court terme sur l'évolution de la saison de culture.

Le risque hydrique probabiliste au niveau sous-régional résulte de la modélisation du fonctionnement du système eau-sol-plante intégrant les données climatiques historiques. La comparaison entre rendements modélisés sur une base technique "station" et rendements obtenus par les producteurs (suivis *in situ*) constitue une base pour la hiérarchisation des facteurs techniques limitant les rendements.

Pour les bassins versants, la réponse différenciée des cultures aux intrants et aux techniques culturales en fonction de la dynamique des flux hydriques conduit à une hiérarchisation tenant compte de cette hétérogénéité. En matière d'intervention, cette démarche suppose que les propositions d'innovations techniques à l'échelle de la parcelle soient resituées dans le cadre plus large d'un aménagement concerté du bassin versant.

□ Illustration

Les réseaux de mesure des paramètres climatiques, les stations expérimentales agronomiques couplées avec un échantillonnage statistiquement significatif de situations paysannes permettent actuellement d'évaluer l'écart entre les niveaux de production des paysans et les rendements qu'il est possible d'atteindre dans les conditions techniques optimales des stations. A cette échelle sous-régionale, on peut donc déterminer des zones caractérisées par la possibilité de marges de progrès comme cela a été fait pour le Mali.

De tels travaux sont particulièrement utiles pour définir à la fois les politiques de développement technologique et les thèmes techniques d'actions de développement sur les productions végétales.

□ Perspectives

Les recherches dans le domaine de l'agroclimatologie ont, jusqu'à maintenant, peu intégré les dimensions socio-économiques.

Cependant, la fiabilité actuelle des méthodes et les résultats obtenus montrent que le passage à une phase plus opérationnelle en termes de développement est tout à fait possible.

Ce passage implique la prise en compte de la diversité des situations socio-économiques au niveau des unités de production et cela à une échelle géographique compatible avec les dimensions d'une opération de développement.

Les résultats obtenus en agroclimatologie permettent de mettre en évidence plusieurs axes d'intervention technique (politique variétale, travail du sol...) parmi lesquels il importe d'opérer des choix en fonction des capacités monétaires des différents grands types d'unités de production identifiés à l'échelle d'une sous-région. Ces choix requièrent que soient créées ou renforcées, au niveau local puis sous-régional, des collaborations étroites entre agronomes, agroclimatologistes et socio-économistes.

D'autre part, dans une perspective de programmation des recherches thématiques, les démarches agroclimatologistes permettent, à l'échelle régionale, d'identifier des marges de progrès à court terme, fournissant ainsi un élément essentiel du cadre de référence utilisable par les recherches thématiques. Citons, à titre d'exemple, la mise au point de techniques culturales différenciées en fonction du substrat et permettant une meilleure valorisation de la ressource hydrique, ou bien la définition de critères précis, en matière d'amélioration variétale, du développement racinaire des différentes espèces cultivées.

La validité des résultats obtenus au niveau des sous-régions dépend de la pertinence de la caractérisation des situations morphopédologiques locales par rapport à des ensembles plus vastes, et ce dans la perspective de l'extension, à grande échelle, des résultats obtenus localement.

La validité des résultats obtenus dépend également de la prise en compte des modes concrets de mise en valeur, qui peuvent différer notablement d'une petite région à une autre.

Mécanismes d'élaboration de la production végétale

□ Démarche

La démarche agronomique, au sens où la définit la chaire d'agronomie de l'INA-PG (SEBILLOTTE, 1974, 1978), introduit deux concepts, celui de composante du rendement et celui d'itinéraire technique, autour desquels s'articule l'analyse de l'élaboration de la production en situation paysanne.

Cette approche synthétique des relations milieu-peuplement végétal-technique conduit à la mise en relation des différents éléments qui modélisent le système "peuplement cultivé" sous la forme d'un schéma d'élaboration du rendement.

Dans un premier temps, cette démarche implique l'accumulation et la synthèse de données sur le fonctionnement des peuplements végétaux dans le cadre de systèmes de culture identifiés à une échelle locale voire sous-régionale. Pour s'avérer opérationnelle, il est nécessaire qu'elle s'articule avec des démarches analysant les pratiques des agriculteurs, pour lesquelles elle constitue un référentiel technique de base et une grille d'analyse.

Ces connaissances sur le fonctionnement des peuplements végétaux, que l'on peut schématiquement assimiler à des connaissances "de base" pour l'agronome, permettent lors de diagnostics menés à l'échelle de la petite région agricole de raisonner et hiérarchiser les propositions d'amélioration des itinéraires techniques. Cette base de connaissances agronomiques fait largement défaut dans la majorité des situations sahéliennes.

□ Illustration

On pourra se reporter dans cet ouvrage au chapitre concernant les acquis de la recherche agronomique sur le mil, où est présenté le schéma d'élaboration du rendement établi par DIOUF (1990). Les expérimentations menées en station et en milieu paysan ont permis de préciser ce schéma, notamment en ce qui concerne l'importance de la fumure azotée dans l'élaboration du rendement de cette céréale au niveau de la petite région étudiée : en favorisant la résistance à la sécheresse en début de cycle et en accentuant les risques d'échaudage en fin de cycle cultural.

□ Perspectives

De tels travaux sur les céréales (mil et sorgho) et légumineuses sahéliennes sont encore trop peu nombreux et leur développement paraît indispensable, compte tenu des besoins de définir des axes de recherche et de développement technologique à l'échelle des sous-régions. Pour l'économie de la production agricole sahélienne, ces recherches s'avèrent plus que jamais nécessaires à l'heure où les ressources pour le développement se trouvent réduites et doivent donc être utilisées de la manière la plus performante possible.

Actuellement, trop peu de moyens sont alloués à ce type de démarche et, malgré son coût, il semblerait hasardeux de limiter les investissements dans ce domaine.

A court terme, on peut faire l'hypothèse que l'opérationnalité de ces méthodes sera essentiellement limitée par la diversité des situations sahéliennes et des systèmes de culture réels élaborés par les producteurs et dont les typologies ne rendent pas suffisamment compte de la complexité. La mise en œuvre de tels dispositifs nous paraît devoir être favorisée en tenant compte des analyses déjà disponibles sur l'identification des différents types de milieu.

A moyen terme, cependant, sur le plan des méthodes, des innovations devront être proposées pour répondre notamment aux conditions de la culture associée, majoritaire au Sahel : passage du fonctionnement de peuplements monospécifiques au fonctionnement de peuplements plurispécifiques.

Pratiques agricoles et systèmes de production

MILLEVILLE (1987) écrit : *"Si l'on entend par pratiques agricoles les manières concrètes d'agir des agriculteurs, cela signifie ... que l'on se propose de ne pas dissocier le fait technique de l'opérateur, et plus généralement du contexte dans lequel les techniques sont mises en œuvre..."*

□ Démarches

Les démarches combinent expérimentations et enquêtes en parcelles paysannes, avec le double objectif de préciser les effets des pratiques sur le milieu physique et sur la production (à partir des schémas d'élaboration du rendement) et les conditions qui déterminent ces pratiques au sein des unités de production.

Le fonctionnement de la parcelle de culture est le plus souvent dépendant de la situation de la parcelle dans le milieu physique environnant, lequel détermine les flux hydriques et de matériaux solides reçus par la parcelle (IRAT-DRN, 1989).

Ces démarches impliquent aussi de passer du niveau d'analyse "parcelle", où sont observées et analysées les pratiques au sein de l'unité de production (CAPILLON et CANEILL, 1987), au niveau des unités de production où peuvent être appréhendées également les conditions qui dépendent de l'organisation interne des unités de production ainsi que de l'environnement économique amont et aval de ces unités.

La mise en œuvre de ces démarches est complexe, exigeante en moyens de travail. Elle suppose qu'interviennent en milieu paysan des équipes pluridisciplinaires (agronomes, sociologues, économistes...). Son coût ainsi que la multiplicité des situations observées, résultant de la diversité de l'organisation du milieu physique et des modes d'exploitation de ce milieu, orientent la recherche vers des situations significatives de l'agriculture sahélienne.

L'utilisation des acquis de la recherche en matière de connaissance des milieux pourrait contribuer à l'identification de ces situations significatives.

Les apports en matière de caractérisation de régions homogènes sur le plan des aptitudes/contraintes du milieu physique seraient utilement complétés par des données à caractère technique (modes de mise en valeur) et socio-économique (densités de population, relation avec le marché...).

Dans le cadre de ces situations significatives, pourraient alors être utilisées efficacement les méthodes de stratification du milieu afin de comprendre les déterminants physiques et socio-économiques des pratiques observées (ANGE, 1990).

□ Illustration

Ces démarches d'étude des pratiques paysannes basées sur une double stratification du milieu (physique et socio-économique) ont été plus particulièrement formalisées par ANGE (1990). Ce dernier synthétise ainsi la démarche proposée.

Il écrit : *"Pour conduire un diagnostic sur les contraintes du milieu physique pour les spéculations végétales, il ne suffit pas de stratifier l'espace en fonction des lois de la géologie, de la géomorphologie, de la pédologie ou de l'hydraulique. Il faut aussi analyser les pratiques agricoles, leur répartition spatiale et leurs conséquences sur les états du milieu. Cette analyse utilise les techniques de la géographie rurale et y joint les références et l'appréciation de l'agronome. Comme pour l'analyse du milieu physique, il convient ici d'aller du général vers le particulier. Le diagnostic commence à l'échelle de la petite région ; il se précise à l'échelle du territoire du village et peut être conduit ensuite au niveau de l'exploitation agricole et jusqu'à la parcelle culturale. Les règles de distribution spatiale des interventions humaines sont différentes des lois qui conditionnent la répartition des caractéristiques du milieu physique. On retient, pour la stratification du milieu physique, les variables qui conditionnent assez fortement le comportement des peuplements végétaux cultivés. De la même façon, on s'efforce de retenir, pour la stratification des situations créées par l'application des pratiques agricoles aux terrains, les pratiques qui conditionnent d'une façon majeure le comportement des peuplements végétaux cultivés."*

□ Intérêt

Partant d'une double stratification du milieu physique et social, la démarche permet de déboucher sur des recommandations techniques adaptées à la diversité des milieux physiques et aux modes de mise en valeur. L'amélioration des itinéraires techniques implique le contrôle de la dynamique du milieu physique considéré ; de nombreux exemples au Sahel tendent à montrer que l'amélioration de la productivité des pratiques agricoles dépend fortement des possibilités de maîtriser l'évolution des conditions de milieu : lutte contre l'érosion par l'aménagement des bassins versants.

Dans une perspective de développement, la démarche requiert un dispositif relativement "lourd" qui limite actuellement son opérationnalité.

On peut donc suggérer que des recherches soient développées sur le plan méthodologique de manière à simplifier la démarche, en favorisant notamment les relations avec les recherches sur l'élaboration du rendement des espèces cultivées et celles relatives à la compréhension des dynamiques du milieu physique.

Systèmes et unités de production

Système de production

□ Démarche

Utilisés parallèlement par les géographes, les économistes et les agronomes, les apports de l'analyse systémique pour l'étude des agricultures sahéniennes ont permis l'élaboration d'un cadre de conceptualisation des activités de production agricole.

Sans entrer dans les distinctions résultant d'approches disciplinaires différentes mais relativement proches car elles contribuent à analyser le même objet de recher-

che avec des regards disciplinaires relevant d'une démarche systémique, nous retiendrons ici la définition proposée par JOUVE (*in* BEDU *et al.*, 1987) : *"Ensemble structuré de moyens de production (force de travail, terre, équipement...) combinés entre eux pour assurer une production végétale et/ou animale en vue de satisfaire les objectifs des responsables de la production."*

Cette approche a été utilisée en vraie grandeur, avec un fort caractère opérationnel, lors du projet de recherche-développement des "Unités expérimentales" au Sénégal, à la fin des années 60.

Par rapport aux démarches qui étaient jusqu'alors celles de la recherche agronomique, la démarche systémique a permis de renforcer la cohérence technique des propositions de la recherche, en considérant l'ensemble de la structure et du fonctionnement des systèmes agricoles. L'étude des relations entre les différentes composantes du système étant privilégiées dans une perspective dynamique, il est devenu possible de situer historiquement l'évolution des systèmes de production dans leur environnement économique et de dégager des orientations de recherche et des axes d'intervention pour le développement plus cohérents avec la réalité.

□ Perspectives

Lorsque l'on évoque l'intérêt d'une démarche systémique, on souligne habituellement le caractère synthétique et globalisant de la démarche, qui permet de modéliser de façon qualitative les réactions de l'ensemble du système à une modification d'une technique culturale ou d'une technique d'élevage, à travers les relations entre les différents éléments du système.

Dans une perspective dynamique, la prise en compte par l'analyse systémique des rapports sociaux entre producteurs et avec les autres agents économiques déplace le champ de l'analyse du plan productif vers celui de la reproduction sociale.

Si la démarche systémique n'implique pas nécessairement un centre de décision unique, les systèmes de production observés au Sahel (mais plus largement en Afrique) sont caractérisés par une multiplicité d'acteurs non indépendants dont les décisions concernent tout ou partie des ressources et facteurs de production de l'unité de production.

La notion d'acteur social paraît pouvoir rendre compte de la multiplicité de ces centres de décision, en mettant l'accent sur les stratégies des producteurs qui peuvent se traduire par des ruptures de la cohérence globale du système (YUNG et ZASLAVSKY, 1992). Cette remarque rejoint celle formulée par BONNEFOND *et al.* (1988) qui écrivent : *"... on peut se demander dans quelle mesure la cohérence d'un tel système, parce que postulée a priori, n'exclut pas par définition toute possibilité de dysfonctionnement et de rupture internes"*.

Pour l'analyse en termes agro-économiques, il est souvent pertinent d'articuler la notion de système de production avec celle de filière, ce qui permet de relier les analyses réalisées au plan micro-économique avec les données de l'environnement macro-économique. Par ailleurs, à se concentrer trop strictement sur la sphère de la production, la recherche systémique a eu tendance à se priver d'éléments d'analyse déterminants liés à la mise en marché des produits agricoles. La compréhension de ces mécanismes de mise en marché, leur évolution et les stratégies que les producteurs développent à cet égard sont tout à fait révélatrices d'enjeux socio-économiques.

D'une manière générale, même si les unités de production sont considérées comme des unités d'observation et d'analyse privilégiées par les chercheurs, le système de production reste un outil d'analyse particulièrement pertinent à l'échelle du terroir villageois, de la petite région agricole, de la sub-région ou même d'es-

paces plus vastes, telle la région sahélienne avec des niveaux de précision variables selon les cas. Cependant, il semble que les études basées sur l'analyse en termes de systèmes de production soient essentiellement menées sur des espaces plus réduits que ceux du développement. Il reste dans ce domaine à adapter les outils de l'analyse systémique à l'échelle qui est celle du développement.

Unités de production

□ Intérêt de la démarche

Il ne s'agit pas dans ce cas d'une démarche en tant que telle, mais on tentera d'évoquer dans ce paragraphe les apports qu'ont pu faire nombre de chercheurs du domaine des sciences humaines à la compréhension du fonctionnement des systèmes de production sahéliens*.

Le fonctionnement de l'unité de production repose sur la structure familiale et sur les règles sociales qui lient les différents membres de la famille.

Le plus souvent, ces relations s'expriment dans un cadre de référence lignager qu'il est bon d'explicitier, même de façon schématique, tant les différences qu'il entraîne sur le plan méthodologique et en matière de fonctionnement des unités de production sont importantes par rapport à la conception que l'on a de l'unité de production en Europe (un seul centre de décision, une famille nucléaire comme base...).

Les unités de production, s'organisant sur la base de la structure lignagère, présentent plusieurs niveaux où se prennent les décisions concernant l'affectation des facteurs de production. En milieu sahélien, ces unités se caractérisent par la non-coïncidence des unités de production, de consommation, de résidence et d'accumulation.

En termes de production, l'autorité du chef d'exploitation s'exerce sur les champs collectifs, sur lesquels il mobilise tout ou partie de la force de travail et des moyens de production, dont il assure lui-même la gestion.

Les dépendants gèrent de manière autonome des champs individuels alloués par le chef d'exploitation, ce qui signifie que ce dernier contrôle essentiellement la consommation du groupe familial produite collectivement et une partie seulement de l'épargne, dégagée de l'ensemble des parcelles de l'unité de production.

Plus généralement, ANCEY (1975) a montré l'intérêt d'analyser simultanément le statut familial, la maîtrise des facteurs de production et les objectifs qui définissent un niveau de décision au sein de l'unité de production.

Chaque niveau de décision se caractérise ainsi par un certain nombre d'objectifs, qui peuvent être communs à plusieurs niveaux : production d'autosubsistance, production commercialisée, cohésion sociale, etc.

□ Illustration

Les études menées par la recherche et par les structures de développement lors de l'expérience des Unités expérimentales au Sénégal ont permis de dégager pour le développement des orientations socio-économiques, en tirant les conséquences, sur le plan technique, de l'organisation interne des unités de production.

* On pourra utilement se référer aux réflexions animées par le groupe AMIRA et particulièrement au document intitulé "Les unités d'observation" (AMIRA, 1987).

KLEENE (1976) écrit : *"L'objet est de préciser ce qu'est l'exploitation chez les Wolofs, par l'analyse de sa structure socio-économique. On détermine d'abord la limite supérieure de l'unité de production, pour étudier ensuite la disponibilité et l'utilisation des facteurs de production par les différentes catégories de personnes actives. Leur distinction est faite selon les statuts sociaux, qu'on peut limiter à trois dans le cadre de la production agricole. Par ordre hiérarchique, on distingue : le chef d'exploitation, les hommes et les femmes. Il se trouve que le chef d'exploitation ne contrôle que 50 à 60 % de la superficie cultivée totale, qu'il détient presque tout le capital fixe, et qu'il est bénéficiaire d'importantes prestations de travail de la part des hommes et des femmes. Il doit satisfaire les besoins alimentaires de tous les membres de l'exploitation et il est le seul à cultiver des céréales en quantités importantes. Les autres membres de l'exploitation contrôlent chacun une ou plusieurs parcelles de culture de rente, dont le produit leur revient intégralement à titre individuel. Par conséquent, on doit distinguer l'exploitation principale du chef d'exploitation et les sous-exploitations des hommes et des femmes. La structure socio-économique ainsi déterminée fournit à la recherche agro-économique les unités de référence réelles, et permet au développement de baser ses actions de diffusion sur une connaissance réaliste de l'appareil de production."*

La recherche-développement

Les démarches dites de recherche-développement ont émergé à partir des constats de la diffusion limitée en milieu paysan des propositions d'innovations de la recherche agricole à travers des actions de développement.

Au schéma "descendant" (top-down) et linéaire de diffusion de l'innovation technique, les démarches de recherche-développement proposent de substituer une relation de concertation entre chercheurs, agents de développement et producteurs dans un schéma "ascendant" se basant sur les blocages identifiés conjointement pour questionner le système de recherche (TOURTE et BILLAZ, 1982).

On peut donner la définition suivante de la recherche-développement : *"C'est une expérimentation en vraie grandeur des possibilités et conditions du changement technique et social. La "vraie grandeur", dont l'espace d'intervention définit les limites physiques, est, en fait, déterminée par les conditions institutionnelles régissant la mobilité des facteurs de production et la rigidité des rapports de production."* (BILLAZ et DUFUMIER, 1980).

Même si les démarches de recherche-développement comportent des phases maintenant classiques de recherche sur les systèmes de production comparables aux démarches anglo-saxonnes (Farming system research), nous évoquerons cependant, brièvement, certaines des étapes qui nous semblent importantes.

Le diagnostic

La fonction de diagnostic s'exerce sur les systèmes de production et sur le système agraire dans son ensemble : amont et aval des unités de production, environnement économique général (prix des produits agricoles, prix des intrants, conditions de l'échange, relations sociales de production et d'échange...).

Le diagnostic a pour but principal de comprendre les choix des différentes catégories de producteurs dans l'affectation des ressources rares dont ils disposent (foncier, force de travail, capital), en prenant en compte les objectifs familiaux à court et moyen terme.

De nombreuses expériences de terrain montrent l'intérêt d'adopter une approche historique, de façon à situer l'intervention, et donc le diagnostic, dans le cadre de l'évolution et des dynamiques qui animent le système agraire considéré. La perspective historique apporte souvent des éléments-clés dans l'interprétation de la situation agraire présente. La confrontation de ce diagnostic "extérieur" – car réalisé par l'équipe qui intervient – avec les demandes et l'opinion des producteurs concernés est un test important pour l'instauration d'une dynamique de confiance avec ceux-ci. Il est particulièrement utile à ce stade d'analyser les demandes "sociales" en les situant par rapport aux catégories de producteurs identifiées.

L'innovation technique en milieu paysan

Il est possible de distinguer plusieurs types d'expérimentation en milieu paysan, notamment (TRIOMPHE, 1987) :

- selon les objectifs et la phase de recherche qui déterminent le contenu et les objectifs des essais, à mesure qu'évolue la connaissance sur le milieu ;
- selon le thème de recherche, en tenant compte du type de proposition d'innovation ;
- selon le niveau d'implication des paysans dans le processus expérimental, en fonction des charges et des risques qu'ils acceptent d'assumer.

Schématiquement, un programme d'expérimentation en milieu paysan suppose que soient réalisées les deux stratifications préalables de la phase de diagnostic, afin que soient clairement définis ce que les anglo-saxons nomment les "domaines de recommandation". Cette stratification préalable est indispensable pour limiter les sources de variabilité, beaucoup plus importantes en milieu paysan qu'en milieu contrôlé, et incorporer au dispositif expérimental une partie de celles-ci.

Néanmoins, il semble utile de soutenir les efforts de recherche sur les méthodes statistiques adaptées aux contraintes de l'expérimentation en milieu paysan.

La composante "organisation des producteurs" est particulièrement importante dans les démarches de recherche-développement par le rôle qu'elle est amenée à jouer dans la diffusion des innovations tant techniques que sociales et dans la prise en charge des transformations de l'environnement des unités de production (approvisionnement, commercialisation...).

D'autre part, certaines techniques ou mesures d'aménagement de l'espace sont raisonnées à un niveau supérieur à celui de l'exploitation ; c'est le cas en particulier des techniques de lutte contre l'érosion ou en matière d'organisation de la gestion des zones pâturées, nécessitant une action concertée avec l'ensemble des utilisateurs de l'espace.

A moyen terme, les organisations de producteurs devraient être en mesure de jouer pleinement un rôle de partenaire institutionnel reconnu par la recherche et par le développement. Elles seraient alors en mesure de questionner directement la recherche thématique, soit pour utiliser des références techniques disponibles, soit pour étudier de façon plus approfondie une technique ou un mécanisme biologique bien précis et participer ensuite à la diffusion de l'innovation en relation avec les structures de développement.

Perspectives

Le Groupe de travail Coopération française présente comme suit les limites actuelles des démarches de recherche-développement : *"Les résultats de la recherche-développement sont loin d'être négligeables ; cependant, sa mise en pratique a parfois suscité des critiques :*

- d'aucuns considèrent qu'elle est "malade du diagnostic" et force est de constater qu'un diagnostic initial qui s'étire en longueur satisfait plus les chercheurs que les producteurs et les institutions de développement ;

- l'approche trop exclusivement agronomique ou agricole lui est aussi parfois reprochée, notamment en ce qui concerne les innovations expérimentées ;

- il arrive parfois que la diffusion de ses résultats pose un problème : une articulation institutionnelle insuffisante avec les structures de développement peut expliquer cette difficulté, mais aussi le fait qu'elle n'ait pas toujours retenu les mécanismes d'extension de ses résultats techniques et organisationnels comme objet de recherche ;

- la marginalisation des agents de développement de base est un écueil que la recherche-développement ne sait pas toujours éviter ; or, de nouvelles approches de la vulgarisation ne seront possibles que si les "vulgarisateurs" prennent conscience de la nécessité de changer leurs pratiques et acquièrent de nouvelles compétences. La recherche-développement est un moyen de renforcer les liaisons institutionnelles entre recherche-développement et formation et c'est quand cette intégration a eu lieu que les résultats obtenus ont été les plus porteurs."

Bibliographie

- AMIRA, 1987. Les unités d'observation. Paris, INSEE, 283 p. (Brochure AMIRA, n° 49).
- ANCEY G., 1975. Les notions d'activité et d'actif à l'intérieur d'une exploitation agricole. Paris, INSEE, 15 p. (Note AMIRA, n° 3).
- ANGE A., 1990. Stratification de l'espace rural et diagnostic des contraintes du milieu à la production végétale. In : Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales (Actes des journées de la DRN, Montpellier, 12-15 septembre 1989). Montpellier, CIRAD-IRAT, p. 35-65.
- BEDU L., MARTIN C., KNEPFLER M., TALLEC M., URBINO A., 1987. Appui pédagogique à l'analyse du milieu rural dans une perspective de développement. Montpellier, CIRAD-DSA, 191 p. (coll. Documents systèmes agraires, n° 8).
- BILLAZ R., DUFUMIER M., 1980. Recherche et développement en agriculture. Paris, PUF, ACCT.
- BONNEFOND P., COUTY P., GERMAIN N., 1988. Essai de conclusion. Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum., 24 (1) : 137-144.
- CAPILLON A., CANEILL J., 1987. Du champ cultivé aux unités de production : un itinéraire obligé pour l'agronome. Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum., 23 (3-4) : 409-420.
- DIOUF M., 1990. Analyse de l'élaboration du rendement du mil (*Pennisetum typhoides* Stapf et Hubb.). Mise au point d'une méthode de diagnostic en parcelles paysannes. Thèse doctorat, INA-PG, Paris, 227 p.
- GUILLOBEZ S., 1985. Carte des milieux naturels du Burkina Faso (1/1000 000). Montpellier, CIRAD.
- IRAT-DRN, 1989. Principaux résultats des agronomes de l'IRAT pour le programme fertilité des sols et gestion des ressources naturelles. Campagnes agricoles 1987 et 1988. Montpellier, CIRAD-IRAT-DRN, 66 p.
- KLEENE P., 1976. Notion d'exploitation agricole et modernisation en milieu wolof (Saloum, Sénégal). L'Agron. Trop., 31 (1) : 63-82.
- RAUNET M., 1985. Bas-fonds et riziculture en Afrique. Approche structurale comparative. L'Agron. Trop., 40 (3) : 181-201.
- SEBILLOTTE M., 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. Cah. ORSTOM, sér. Biol., 3 (1) : 3-25.
- SEBILLOTTE M., 1978. Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. C.R. Acad. Agric. Fr., 64 (11) : 906-914.
- TOURTE R., BILLAZ R., 1982. Approche des systèmes agraires et fonction recherche-développement. Contribution à la mise au point d'une démarche. L'Agron. Trop., 37 (3) : 223-232.
- TRICART J., KILIAN J., 1979. L'écogéographie et l'aménagement du milieu naturel. Paris, Maspéro, 320 p. (coll. Hérodote).
- TRIOMPHE B., 1987. Méthodes d'expérimentation en milieu paysan. Approche bibliographique. Montpellier, CIRAD-IRAT.
- YUNG J.M., ZASLAVSKY J., 1992. Pour une prise en compte des stratégies des producteurs. Montpellier, CIRAD-SAR, 72 p. (coll. Documents systèmes agraires, n° 18).

Collection "Documents Systèmes Agraires"

TITRES PARUS :

- n° 1 Fonctionnement des systèmes de production et utilisation de l'espace dans un village du Yatenga : Boukéré (Burkina-Faso) ; par M.J. DUGUÉ, 1986 - 20 p.
- n° 2 • Systèmes agraires, systèmes de production en Afrique de l'Ouest (et Madagascar). Bibliographie ; par C. SECOND, M. BENOIT CATTIN, 1986 — 186 p.

• mise à jour 1988
- n° 3 Typologie des agro-systèmes villageois du département de Maradi (Niger) : Propositions pour un programme de Recherche-Développement ; par P. JOUVE, 1987 — 100 p.
- n° 4 Relations agriculture élevage. Actes du II^e séminaire du Département Systèmes Agraires du CIRAD, Montpellier 10 - 13 septembre 1985 — 337 p.
- n° 5 Les politiques alimentaires face aux changements dans les modes de consommation des céréales en Afrique de l'Ouest : Approche bibliographique ; par M. BENOIT CATTIN, C. DELGADO, 1986 — 140 p.
- n° 6 Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production. Actes du III^{ème} Séminaire - Montpellier 16 - 19 décembre 1986 (Tome I - Tome II) — 653 p.
- n° 7 Diagnostic du système agraire et des systèmes de production en Ségala Aveyronnais ; par Y. CLOUET, T. RUF, A. GUILLONEAU, 1986 — 123 p.
- n° 8 Appui pédagogique à l'analyse du milieu rural dans une perspective de développement ; par L. BEDU, C. MARTIN, M. KENEFLER, M. TALLEC, A. URBINO. 1987 — 191 p.
- n° 9 Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone Soudano-Sahélienne ; par P. DUGUÉ, 1989 — 350 p.
- n° 10 Etude des systèmes agraires de la région de Notsé au Togo : un exemple de diagnostic de l'exploitation du milieu à l'échelle régionale ; par M. TALLEC — 160 p.
- n° 11 Une expérience de recherche développement dans la province du Zou (Bénin) ; par M. ROESCH, 1990 — 106 p.
- n° 12 Stratégies des producteurs en zone caféière et cacaoyère du Cameoun. Quelles adaptations à la crise ? ; par B. LOSCH, J.L. FUSILLIER, P. DUPRAZ, 1991 — 252 p.

- n° 13 Expérimentations en milieu paysan en zones tropicales ; par E. DE PONTEVES, P. JOUVE, 1991 — 128 p.
- n° 14 Traction animale et motorisation en zone cotonnière d'Afrique de l'Ouest : Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali ; par Y. BIGOT, G. RAYMOND, 1991 — 95 p.
- n° 15 Développement des systèmes financiers ruraux dans les pays en développement ; Bibliographie par Y. LASICA, 1991 — 241 p.
- n° 16 La transition caféière (Côte est de Madagascar) ; par C. BLANC-PAMARD, F. RUF, 1992 — 240 p.
- n° 17 Le développement agricole au Sahel.
- Tome I : Milieux et défis ; P.-M. BOSC, V. DOLLÉ, P. GARIN, J.-M. YUNG (éd.), 1992 — 344 p.
 - Tome II : Recherches et techniques ; P.-M. BOSC, V. DOLLÉ, P. GARIN, J.-M. YUNG (éd.), 1993 — 368 p.
 - Tome III : Terrains et innovations ; P.-M. BOSC, V. DOLLÉ, P. GARIN, J.-M. YUNG (éd.), 1992 — 305 p.
 - Tome IV : Défis, recherches et innovations au Sahel ; par J.-M. YUNG, P.-M. BOSC, 1992 — 386 p.
- n° 18 Pour une prise en compte des stratégies des producteurs ; par J.-M. YUNG, J. ZASLAVSKY, 1992 — 72 p.
- n° 19 Les exploitations agricoles de la crête Zaïre-Nil au Rwanda ; par B. GOUD, 1993 — 252 p.

IMPRIMERIE
FRANCE QUERCY
CAHORS

ISSN 1159 - 6457
ISBN 2 - 906390 - 17 - 8
Dépôt légal 1993

Composition Maquette	:	Martine LHOSTE
Composition de la couverture	:	FLASH EDITOR
Impression couverture	:	Imprimerie Michel

LE DEVELOPPEMENT AGRICOLE AU SAHEL

Tome II - Recherches et techniques

P.M. BOSC, V. DOLLÉ, P. GARIN, J.M. YUNG

« Recherches et techniques » est le deuxième tome issu d'une réflexion collective animée par les chercheurs du CIRAD-SAR, intitulée « Le développement agricole au Sahel ». Mettre en évidence la diversité des situations agricoles et les défis auxquels sont confrontées les sociétés sahéniennes, analyser les apports de la recherche au développement afin de suggérer de nouvelles orientations et, enfin, réfléchir sur les processus d'innovation, tels sont les principaux objectifs de cette synthèse.

« Recherches et techniques » esquisse un bilan des résultats de plus de trente ans de recherche agricole au Sahel. Dans le choix des contributions, l'accent a été mis sur les thématiques qui paraissent essentielles face aux défis du milieu. Evaluer les acquis en matière d'amélioration variétale, réfléchir à la problématique de l'eau, aborder les enjeux de l'artificialisation des milieux sahéniens, proposer, au vu des acquis techniques, de nouvelles orientations pour raisonner globalement les systèmes d'élevage au plan régional, tels sont quelques-uns des thèmes traités dans cet ouvrage.

L'idée généralement répandue est que l'insuffisance des résultats opérationnels expliquerait, en partie, la situation précaire des économies agricoles sahéniennes. Les constats présentés démontrent, au contraire, que les propositions d'innovations de la recherche sont nombreuses et qu'elles peuvent servir de base à l'élaboration d'actions de développement.

Cependant, loin de constituer un panégyrique des recherches au Sahel, ces bilans mettent aussi en évidence la nécessité de nouvelles orientations, rendues indispensables et urgentes par les évolutions récentes des systèmes de production et de leur environnement économique.

Les contributions de « Recherches et techniques » ont été rédigées par Hubert de Bon, Pierre-Marie Bosc, Gabriel Boudet, Daniel Bourzat, Pierre Chicoteau, Yves Clouet, Jean-François Cruz, Noumou Diakité, Jacques Faure, Pierre Fontanel, Patrice Garin, Jean-Pierre Goudet, Hubert Guerin, Jean-Yves Jamin, Michel Launois, Gérard Le Thiec, Philippe Lhoste, Gilles Mandret, Jean-Claude Mauboussin, Marie Monimart, Pierre Morel, Mamadou Ndiaye, Bernard Peyre de Fabrègues, Guy Pochier, René Marceau Rochette, Gilles Saint-Martin, Robert Schilling, Georges Serpantié, Georges Tacher, Gurrit Uilenberg.

Les auteurs sont soit des chercheurs appartenant à différentes institutions de recherche (CIRAD-CA, CIRAD-EMVT, CIRAD-Forêt, CIRAD-SAR, ORSTOM, ISRA au Sénégal, PRIFAS du CIRAD-GERDAT), soit des professionnels du développement (ODEM au Mali) ou des consultants.

« Le développement agricole au Sahel » est composé de cinq tomes :

Tome I	Milieus et défis
Tome II	Recherches et techniques
Tome III	Terrains et innovations
Tome IV	Défis, recherches et innovations au Sahel
Tome V	Bibliographie

ISSN 1159 - 6457
ISBN 2 - 906 390 - 17 - 8
Dépôt légal : 1993